

# **Aufgabenwechsel bei visueller Suche**

Von der Gemeinsamen Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina

zu Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Naturwissenschaften  
(Dr.rer.nat.)

genehmigte

**D i s s e r t a t i o n**

von Torsten Futterer

aus Braunschweig

1. Referent : Prof. Dr. Vorberg  
2. Referent : Prof. Dr. Hübner  
eingereicht am : 25.11.1999  
mündliche Prüfung (Disputation) am : 16.02.2000

# Inhalt

<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>3</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>4</b>
1.1 Einführung .....	4
1.2 Exekutive Funktionen .....	5
1.3 Aufgabenwechsel .....	9
1.4 Visuelle Suche .....	15
1.5 Aufgabenwechsel bei visueller Suche .....	23
<b>2. EXPERIMENT I .....</b>	<b>27</b>
2.1 Methode .....	27
2.1.1 Reize .....	27
2.1.2 Versuchsaufbau .....	28
2.1.3 Ablauf .....	29
2.1.4 Versuchsplan .....	30
2.1.5 Versuchspersonen .....	31
2.2 Ergebnisse .....	31
2.2.1 Blockeffekte .....	32
2.2.2 Sequentielle Effekte .....	34
2.2.3 Runs .....	35
2.2.4 Fehler .....	36
2.3 Diskussion .....	37
<b>3. EXPERIMENT II .....</b>	<b>41</b>
3.1 Methode .....	41
3.1.1 Änderungen gegenüber Experiment I .....	41
3.1.2 Versuchspersonen .....	42
3.2 Ergebnisse .....	42
3.2.1 Runs .....	42
3.2.2 Vergleich der Wechselkosten zu Experiment I .....	44
3.3 Diskussion .....	45

<b>4. EXPERIMENT III .....</b>	<b>46</b>
4.1 Methode .....	48
4.1.1 Reize und Versuchsaufbau .....	48
4.1.2 Ablauf .....	49
4.1.3 Versuchsplan .....	49
4.1.4 Versuchspersonen .....	50
4.2 Ergebnisse .....	50
4.2.1 Blockeffekte .....	50
4.2.2 Sequentielle Effekte .....	51
4.2.3 Runs .....	52
4.2.4 Vergleich der Wechselkosten mit Experiment I .....	53
4.2.5 Fehler .....	54
4.3 Diskussion .....	54
<b>5. EXPERIMENT IV .....</b>	<b>56</b>
5.1 Methode .....	57
5.1.1 Reize und Versuchsaufbau .....	57
5.1.2 Ablauf .....	57
5.1.3 Versuchsplan .....	58
5.1.4 Versuchspersonen .....	58
5.2 Ergebnisse .....	58
5.2.1 Blockeffekte .....	58
5.2.2 Sequentielle Effekte .....	61
5.2.1 Fehler .....	63
5.2 Diskussion .....	63
<b>6. GESAMTDISKUSSION .....</b>	<b>65</b>
<b>7. LITERATUR .....</b>	<b>70</b>
<b>8. ANHANG .....</b>	<b>A-1</b>

## Zusammenfassung

Die Bearbeitung unterschiedlicher Aufgaben in schnellem Wechsel erfordert längere Bearbeitungszeiten als die gleicher Aufgaben. Diese Zeitdifferenz wurde als Aufgabenwechselkosten interpretiert und anhand kognitiver Entscheidungsaufgaben mit Ziffern, Buchstaben oder Worten eingehend untersucht. Ziel dieser Studie war es, das Paradigma des Aufgabenwechsels in Verbindung mit visuell-räumlichen Aufmerksamkeitsprozessen und intentionalen Kontrollmöglichkeiten auf der Wahrnehmungsebene zu untersuchen. Dazu wurden die aufgabenrelevanten Reize über visuelle Suche vorgegeben. Versuchspersonen hatten farb- oder formabweichende Reize entweder nur zu entdecken oder sie zu entdecken und anhand ihrer abweichenden Eigenschaft zu klassifizieren. Neben der Darbietung in Experimentalblöcken mit und ohne Wechsel der Aufgabe, wurde die Möglichkeit aufgabenspezifischer Vorbereitung und Interferenz durch ablenkende Reize variiert.

Ähnlich wie bei klassischen Ziffern- oder Buchstabenaufgaben fanden sich bei Klassifizierungsaufgaben Aufgabenwechselkosten, die durch Vorbereitung reduziert aber nicht eliminiert werden konnten. Diese residualen Wechselkosten traten jedoch nicht bei Entdeckungsaufgaben auf, was darauf schliessen lässt, dass sie durch Umstellungsprozesse auf den Ebenen der Reizklassifizierung und Antwortgenerierung verursacht wurden. Eine Beteiligung an den Wechselkosten konnte auch für die Interferenz nachgewiesen werden, die durch ablenkende Reize erzeugt wurde. Der Aufwand für die Hemmung von Ablenkern wirkte sich allerdings nur auf frühen (perzeptiven) Verarbeitungsstufen aus, ohne direkten Einfluss auf eine spätere Reizklassifizierung.

# 1. Einleitung

## 1.1 Einführung

In dieser Arbeit wurden zwei Themenbereiche kombiniert, die in der kognitiven Psychologie eine lange Tradition haben: Die Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsprozesse der visuellen Suche und die exekutiven Kontrollfunktionen der Handlungssteuerung, operationalisiert durch das Paradigma des Aufgabenwechsels. Die praktische Relevanz beider Forschungsgebiete lässt sich dabei leicht durch viele alltagsnahe Anwendungsbeispiele belegen. Menschen nutzen ständig die Möglichkeiten visueller Suchprozesse, um bestimmte Objekte in der grossen Reizvielfalt unserer Umwelt zu finden. Ob und wie schnell wir ein Zielobjekt finden, hängt davon ab, wie sehr es sich von den anderen Objekten unterscheidet, etwa in der Farbe, der Form oder der Grösse. Mit dem Auffinden von Objekten sind zumeist auch Handlungen verbunden, die durch oder an diesem Objekt vollzogen werden. Mentale oder motorische Operationen werden ausgeführt, um einen Zielzustand zu erreichen, der mit den Objekten unserer Umwelt und unseren Bedürfnissen in Verbindung steht.

Jeder Mensch, der schon einmal ein Fahrzeug durch eine fremde Stadt gelenkt hat, wird das folgende Beispiel nachvollziehen können: Ziel ist es, einen bestimmten Ort, etwa eine Universität, innerhalb einer fremden Umgebung zu finden. Unser Verhalten wird in diesem Augenblick vorwiegend durch bestimmte visuelle Reize in unserem Blickfeld gesteuert. Wir suchen nach Verkehrszeichen und Hinweisschildern, die uns unserem Ziel näherbringen. Diese Objekte unterscheiden sich durch besondere Eigenschaften von der Umgebung, so dass wir sie finden und angemessen auf sie reagieren können. Eine Richtungsänderung wird beispielsweise als Handlung ausgeführt, sobald ein entsprechender Hinweisreiz gefunden wurde. Ergänzt wird die Suche durch andere handlungsrelevante Hinweisreize, etwa zur Einhaltung allgemeiner Verkehrsvorschriften. Schon hierbei kann es zu einem Aufgabenwechsel kommen, nämlich wenn die Handlung *„fahre mit dem Auto auf dem schnellsten Weg zur Uni“* unterbrochen wird durch ein rotes Lichtsignal, dass uns zum *„Anhalten“* auffordert. Augenblicklich werden neue Handlungsschemata (anhalten, warten) aktiviert und durch motorische Reaktionen (Bremsen treten, ...) umgesetzt. Ein völlig neues Handlungsschema könnte etwa durch das Wahrnehmen der Tankanzeige des PKW ausgelöst werden. Die bisherigen richtungsweisenden Zielobjekte werden unbedeutend und es wird nach neuen visuellen Reizen Ausschau gehalten, die in Form einer Tankstelle den nötigen Treibstoff für unsere Weiterfahrt garantieren.

Es liessen sich viele weitere Beispiele finden, da unser Alltag voll ist von visuellen Suchaufgaben, Aufgaben die sich ständig ändern und auf die wir uns schnell einstellen müssen, um sie angemessen bewältigen zu können. Im folgenden werde ich näher auf die Bedingungen eingehen, die für den reibungslosen Ablauf unserer Handlungssteuerung notwendig sind: Die Prozesse der exekutiven Kontrolle. Anschliessend widme ich mich

den Effekten von Aufgabenwechseln, die ein geeignetes Instrument zur Untersuchung dieser Steuerungsprozesse darstellen. Da sich Aufgabenwechsel anhand vieler verschiedener mentaler Entscheidungsaufgaben untersuchen lassen, soll auch erläutert werden, warum ich gerade die visuelle Suche dazu ausgewählt habe. Schliesslich ergaben sich aus diesen Überlegungen die Experimente zum *Aufgabenwechsel bei visueller Suche*, bei denen ein Computer-Monitor und die Tasten einer Computermouse die Fahrt durch die unbekannte Stadt ersetzen. Doch darauf komme ich später zurück. Zunächst muss geklärt werden, was exekutive Kontrollfunktionen sind und wie sie den Ablauf unserer Handlungen steuern.

## 1.2 Exekutive Funktionen

Zu Beginn meiner Untersuchungen steht die Frage, wie es Menschen gelingt, unterschiedlichste Handlungen im Dialog mit ihrer Umwelt auszuführen. Wie sie Aufgaben, die ihnen gestellt werden, bearbeiten und das Ergebnis der Umwelt mitteilen. Das betrifft alle menschlichen Handlungen. Diese können sehr einfach sein, wie eine simple Handbewegung oder sehr komplex und schwierig, wie etwa das Starten und Landen eines Flugzeugs. Sie sind vielleicht nur von kurzer Dauer wie eine Augenbewegung oder umfassen lange Zeiträume, in denen das Abarbeiten langer Handlungssequenzen zum Ziel führt. Die Handlungen laufen nicht immer nacheinander ab, sie können gleichzeitig oder im schnellen Wechsel bearbeitet werden, so dass hohe Anforderungen an die Flexibilität des bearbeitenden Systems gestellt werden. Das System, das für die Bearbeitung kognitiver Prozesse zuständig ist, lässt sich entsprechend ihrer Funktion in Teilsysteme gliedern. Ein System ist für die Wahrnehmung und Interpretation der Umweltreize zuständig, ein weiteres für die Bearbeitung von Aufgaben und die Entscheidungsfindung und eines schliesslich zur Planung und Steuerung von Reaktionen. Letztendlich können die Systeme jedoch nur im Zusammenhang mit einem Gedächtnissystem funktionieren, das Informationen für kurze Zeiträume, also zur aktuellen Bearbeitung oder für längere Zeiträume, etwa zum Abgleich von neuen und älteren Informationen speichert. Ein einfaches Modell zum Arbeitsgedächtnis lieferte Baddeley (1986), dargestellt in Abbildung 1.1.

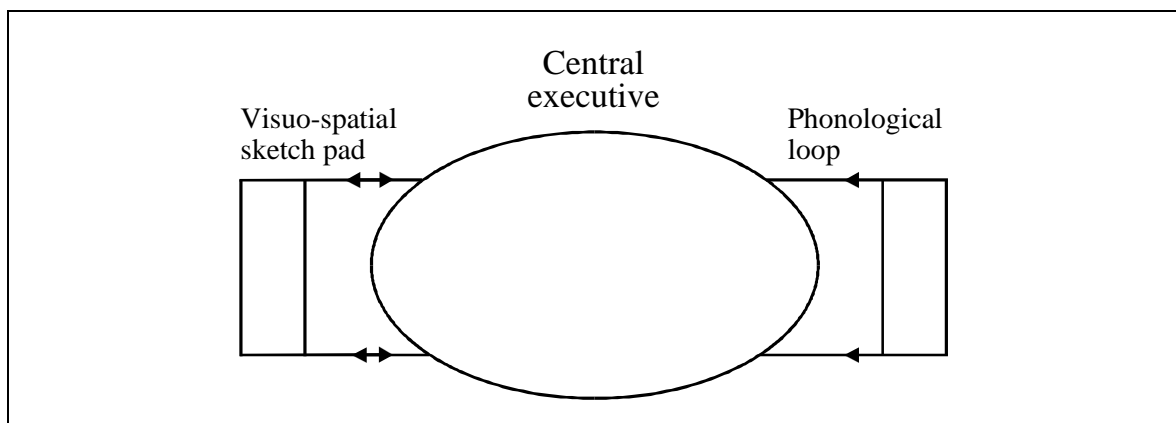


Abbildung 1.1 Modell des Arbeitsgedächtnisses nach Baddeley (1986).

Das Arbeitsgedächtnis besteht danach aus einem Kurzzeitspeicher für visuelle (visuo-spatial sketch pad) und einem für auditive Informationen (phonological loop) und einer zentralen Exekutive, die diese Informationen verarbeitet. Mein Hauptinteresse gilt dieser zentralen Exekutive, der Verarbeitungs- und Schaltstelle, die hier eher als Black-Box dargestellt wird. Die Funktionen der zentralen Exekutive, die das eigentliche Interesse dieser Arbeit darstellen, bleiben im Modell von Baddeley allerdings verborgen.

Tiefere Einsicht bieten Modelle, die auf Produktionssystemen zur exekutiven Kontrolle basieren. Das Modell des *Supervisory Attentional System* von Norman und Shallice (1986) ist wohl das zur Zeit populärste und verbreitetste Modell dieser Art. In Abbildung 1.2 ist das Modell schematisch dargestellt.

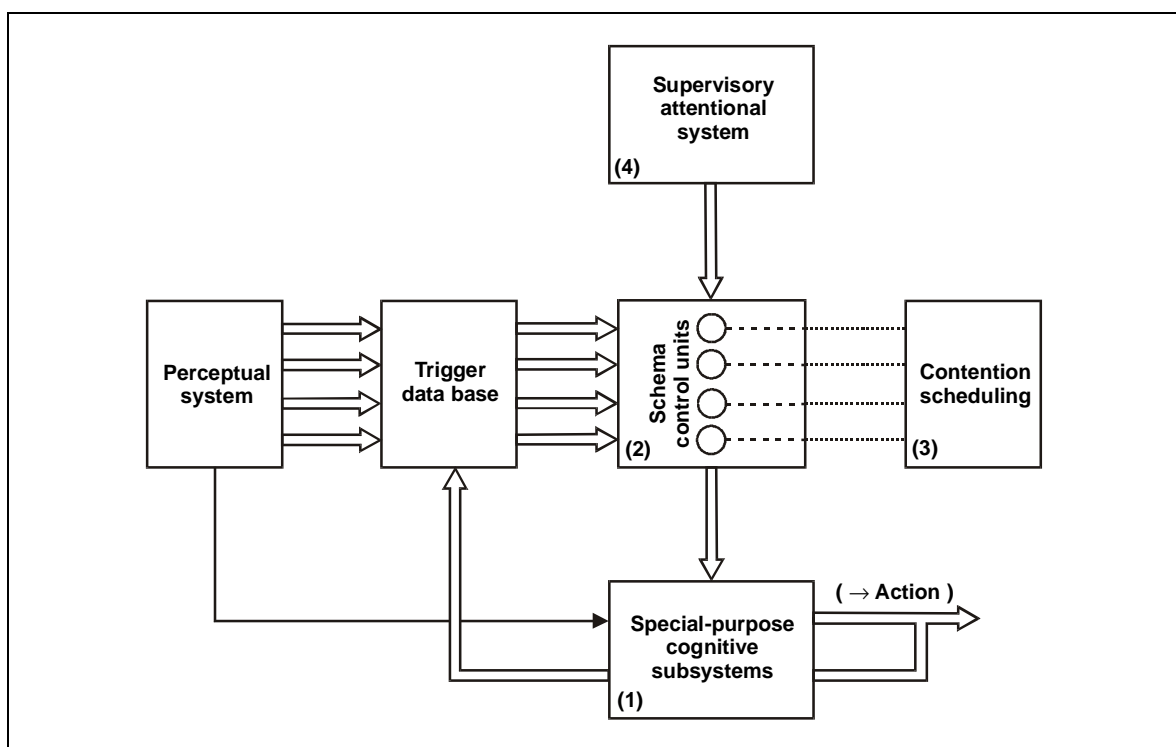


Abbildung 1.2 Das Norman-Shallice Modell zur Handlungssteuerung (zitiert nach Monsell, 1996).

Die zentrale Exekutive gliedert sich hier in selbständige reizgesteuerte Produktionseinheiten, die von einer zentralen Steuereinheit überwacht werden. Das Modell stützt sich auf die Automatisierung von häufig vorkommenden, also gut gelernten Handlungen, die ohne den Einfluss des Überwachungssystems ablaufen können. Eine Handlung, die sich häufig bzw. regelmässig wiederholt, kann nach einer gewissen Lernphase automatisch, d.h. ohne Aufmerksamkeitszuwendung ausgeführt werden. Ohne diese Fähigkeit wäre es beispielsweise nicht möglich, ein Fahrzeug sicher durch den Strassenverkehr zu lenken. Die Vielzahl der dabei beteiligten Aufgaben würde unser Verarbeitungssystem schnell überlasten, was jeder Fahrschüler bestätigen kann. Die Automatisierung der Handlungen erfolgt durch die Einrichtung von Schemata (Schema control units, 2), in denen das Wissen um die notwendigen Abläufe gespeichert ist. Die Schemata arbeiten reizgesteuert, ein Umweltreiz wird von unserem Wahrnehmungssystem analysiert und an eine zentrale Datenstation weitergeleitet



(trigger data base), von der aus das passende Schema aktiviert wird. Dieses Schema bearbeitet die Aufgabe selbständig und leitet das Ergebnis an andere Systeme weiter (special-purpose cognitive subsystems), die zur Bewältigung einer Aufgabe notwendig sind. Ein solches Subsystem könnte beispielsweise eine motorische Antwort vorbereiten oder generieren. Unterstützt wird das System der Schemata durch das contention scheduling (3), das verhindern soll, dass mehrere Schemata gleichzeitig aktiviert werden und sich in ihrer Arbeit gegenseitig stören. Durch die Hemmung irrelevanter Schemata sorgt das contention scheduling für die eindeutige Zuordnung von handlungsrelevantem Reiz und Produktion. Ein menschliches Leben besteht jedoch nicht nur aus automatisierten Handlungsabläufen. Alle Handlungen waren irgendwann einmal neu und ungeübt und müssen durch eine intensive Lernphase erst automatisiert werden. Es gibt ständig Situationen, in denen von den üblichen Verarbeitungsroutinen abgewichen werden muss, in denen flexibles Verhalten gefordert ist. So sollte etwa in einer Gefahrensituation eine Handlung abgebrochen werden, um zu einer anderen, dringlicheren zu wechseln. Um dieses flexible Verhalten zu ermöglichen, wurde in das Modell ein übergeordnetes Aufmerksamkeitssystem (supervisory attentional system = SAS [4]) aufgenommen. Das SAS übernimmt die Steuerung in neuartigen Situationen, in denen Handlungsschemata erst begründet werden müssen, also noch nicht existieren; oder in mehrdeutigen Situationen, in denen sich ein Schema nicht eindeutig zuordnen lässt und auch das contention scheduling überfordert ist. Das SAS sorgt dafür, dass überlernte Automatismen nicht abgearbeitet werden, wenn sie nicht der Situation oder der Aufgabe angemessen sind. Das SAS ist auf die Zuwendung von Aufmerksamkeit angewiesen und verfügt daher über eine begrenzte Kapazität – Prozesse, die der aktiven Steuerung des SAS unterliegen, benötigen daher oft mehr Zeit für ihre Ausführung. Überfordert wäre die zentrale Steuereinheit bei der gleichzeitigen Bearbeitung mehrerer Aufgaben. Diese ist nur möglich durch eine Automatisierung der Abläufe und eine selbständige Abarbeitung von Aufgaben durch Schemata. Die Existenz und die Eigenschaften des SAS sind jedoch keineswegs unumstritten. Einige Modelle von Produktionssystemen verzichten auf ein übergeordnetes Kontrollsystem und lassen verschiedene Einheiten parallel und unabhängig voneinander agieren, wie etwa in einem Modell von Newell (1973), in dem unterschiedliche Aufgaben ausschliesslich reizgesteuert abgearbeitet werden, unbeeinflusst von einer zentralen Steuerung. Andererseits sind auch Modelle denkbar, die über mehrere übergeordnete Kontrollinstanzen verfügen, die parallel arbeiten und somit die Verarbeitungsprozesse beschleunigen.

Dass die hier geschilderten Modelle ihre Entsprechung in der menschlichen Anatomie und im Verhalten finden, belegen eine grosse Zahl wissenschaftlicher Studien. Die Suche nach den anatomischen Grundlagen der exekutiven Kontrolle hat besonders durch die Entwicklung auf dem Gebiet der bildgebenden Verfahren in der Hirnforschung Auftrieb erhalten. Mithilfe der Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), der Positron-Emissions-Tomographie (PET) oder dem Elektro-Enzephalogramm (EEG) lässt sich non-invasiv Einblick in die Aktivität des lebenden Gehirns nehmen. Smith und Jonides (1999) geben einen Überblick über Studien, die mittels bildgebender Verfahren die Funktionen des frontalen Kortex

betrachten. Durch diese Studien wird deutlich, dass exekutive Funktionen und Speicherungsprozesse überwiegend im präfrontalen Kortex stattfinden. Für die Kurzzeitgedächtnis-Funktionen liessen sich modalitätsspezifische Bereiche finden für verbale, räumliche und objektbezogene Informationen. Die Exekutiv-Funktionen konnten klar von den Speicher-Funktionen getrennt werden, zusätzlich erfolgte eine Unterscheidung von Prozessen der Hemmung und der Aufmerksamkeitszuwendung bei Interferenz-Aufgaben (Stroop, 1935; MacLeod, 1991).

Neurologische und neuropsychologische Studien, auch im Zusammenhang mit bildgebenden Verfahren, bilden einen weiteren Baustein zu Lösung des Rätsels um die Exekutiv-Funktionen. Defizite, die entstehen, wenn Kontrollfunktionen bei neuropsychologischen Patienten ausfallen, lassen Rückschlüsse auf den Ablauf gesunder Prozesse zu. Besonders Patienten mit Schädigungen des frontalen Kortex haben Schwierigkeiten bei der Bewältigung von Situationen, die flexibles Verhalten erfordern. Folgende Fähigkeiten werden als frontallhirnspezifisch eingestuft und sind bei ihnen oftmals gestört (Smith und Jonides, 1999): Fokussierte Aufmerksamkeit und Hemmung irrelevanter Informationen (*I*), Wechsel der fokussierten Aufmerksamkeit zwischen Aufgaben (*II*), Planung einer Aufgabensequenz zur Zielerreichung (*III*), Überwachung des Arbeitsgedächtnisses bei der schrittweisen Bearbeitung von Aufgaben-Sequenzen (*IV*) und örtliche und zeitliche Kodierung im Arbeitsgedächtnis (*V*). Automatisierte Handlungen funktionieren meist noch einwandfrei, werden jedoch oft in unpassenden Situationen ausgeübt. Die Kontrolle über die automatischen Abläufe fehlt hier genau wie bei ungewohnten, neuartigen Situationen, für die keine Handlungsschemata vorliegen. Beispiele dafür sind die Perseverationsneigung von Patienten, also die Tendenz bei einer einmal gewählten Handlungsstrategie zu bleiben, auch wenn sie nicht mehr aufgabenangemessen ist. Oder das Utilisationsverhalten, das Patienten dazu zwingt, wahrgenommene Objekte zu benutzen, auch wenn es der Situationskontext verbietet. Diese Fehlhandlungen werden von den Patienten meistens bemerkt, sie sind aber nicht in der Lage gegenzusteuern.

Eine andere Strategie zur Erforschung von exekutiven Kontrollprozessen verfolgt die kognitive Psychologie. Gesunde Probanden sollen in psychologischen Experimenten Aufgaben bewältigen, deren Bearbeitung Aufschluss über die zugrundeliegenden Verarbeitungsprozesse liefern soll. Das Verhalten der Probanden, also die Bearbeitungsdauer und die Fehler bei der Bearbeitung unter verschiedenen Versuchsbedingungen liefern die notwendigen Daten, um Rückschlüsse auf nicht direkt beobachtbare interne Vorgänge zu ziehen. Dazu haben sich Untersuchungen mit Doppel- oder Mehrfachaufgaben und mit einem Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben als besonders hilfreich erwiesen. Das experimentalpsychologische Paradigma des Aufgabenwechsels wird als Methode dieser Untersuchung im folgenden Abschnitt eingehender betrachtet.

### 1.3 Aufgabenwechsel

Bei der Untersuchung von Prozessen der Handlungssteuerung hat sich das Paradigma des Aufgabenwechsels besonders gut bewährt. Einfache und kurze Aufgaben (single step task; Monsell, 1996) werden dabei von Versuchspersonen (Vpn) unter Laborbedingungen bearbeitet, mit gleichzeitiger Registrierung von Bearbeitungszeiten und -fehlern. Diese Aufgaben sind zumeist kognitive Entscheidungs- oder Klassifizierungsaufgaben, die über geschriebene Listen oder Computermonitore dargeboten und bearbeitet werden. Alle Experimente zum Aufgabenwechsel haben die Absicht, den exekutiven Prozessen auf die Spur zu kommen, indem Versuchspersonen veranlasst werden, verschiedenartige Aufgaben in schnellem Wechsel zu bearbeiten. Verglichen wird die Bedingung der wechselnden Bearbeitung mit der Bearbeitung mehrerer gleichförmiger Aufgaben. Erfordert die Bearbeitung verschiedenartiger Aufgaben mehr Zeit als die Bearbeitung gleichförmiger, wird diese Differenz als Wechselkosten interpretiert, d.h. als eine zusätzliche Menge an Zeit, die für die Umstellung auf eine neuartige Aufgabe erforderlich ist.

Seinen Anfang nahm die Forschung zum Aufgabenwechsel mit Untersuchungen von Jersild (1927). Jersild liess von seinen Vpn Listen mit einfachen Aufgaben, die auf Papierseiten geschrieben waren, bearbeiten und registrierte die dafür benötigte Zeit. Innerhalb einer Liste waren entweder nur gleichförmige Aufgaben zu bearbeiten oder es gab zwei verschiedene Aufgabentypen, zwischen denen ständig zu wechseln war. Beim Wechsel zwischen der Addition eines festen Zahlwertes zu einer aufgelisteten Ziffer und der Benennung des Gegenteils zu einem aufgelisteten Substantiv war eine schnellere Bearbeitung möglich, als bei Listen mit nur einem Aufgabentyp. Erst beim Wechsel zwischen zwei verschiedenen mathematischen Operationen, der Addition und der Subtraktion, dauerte die abwechselnde Bearbeitung der Aufgaben länger als die ohne Wechsel. Nach Jersild war dieser Unterschied darauf zurückzuführen, dass unter einigen Bearbeitungsbedingungen der Wechsel zwischen Aufgabentypen leichter zu vollziehen sei, als der zwischen Items innerhalb des gleichen Aufgabentyps. Dieser Effekt sei dabei abhängig vom Lernstatus der Aufgaben.

Ein halbes Jahrhundert später kamen Spector und Biederman (1976) in einer Replikationsstudie zu ähnlichen Ergebnissen, interpretierten diese aber anders: Werden Aufgaben mit gleichem Reizmaterial (beides Ziffern) und ähnlichen Verarbeitungsprozessen (mathematische Operation) abwechselnd bearbeitet, stören sie sich untereinander durch Interferenz - die Generierung von Antworten wird erschwert und benötigt mehr Zeit. Ist nur ein Aufgabentyp zu bearbeiten oder sind die Aufgaben hinreichend unterschiedlich (Ziffern und Wörter), tritt keine Interferenz auf, die Bearbeitungszeit ist kürzer. Das Fehlen von Wechselkosten werde besonders deutlich, wenn die Aufgabe eindeutig durch den aufgabenrelevanten Reiz bestimmt wurde. Der Reiz diene hier als Cue für den Abruf der Operationen, die auszuführen sind.

Erneut aufgegriffen wurde das Paradigma des Aufgabenwechsels von Allport, Styles und Hsieh (1994). Neben dem Wechsel zwischen Ziffern-Entscheidungsaufgaben erweiterten

sie die Versuchsbedingungen um Wechsel zwischen verschiedenen Reizdimensionen, semantischen Kategorien und Antwortmodalitäten. In einem ihrer Experimente hatten die Vpn die Aufgaben, einstellige Ziffern als gerade oder ungerade zu klassifizieren oder anzugeben, ob die Ziffern kleiner bzw. grösser als fünf sind. Die Ziffern waren gleichzeitig in einer bestimmten Anzahl vorgegeben, so dass die Entscheidungsaufgaben nicht nur mit dem Zahlwert der Ziffer ausgeführt werden konnten, sondern auch mit der Anzahl. Zahlwert und Anzahl stellten hier die verschiedenen Reizdimensionen dar, zwischen denen gewechselt werden musste. Ein Aufgabenbeispiel ist in Abbildung 1.3 wiedergegeben. Die Darbietung der Aufgaben erfolgte nicht mehr über geschriebene Listen, sondern über den Monitor eines Computers, die Reaktion der Vpn wurde als Druck auf eine von zwei Computer-Maustasten registriert. Wie bei den Listen von Jersild wurde die Bearbeitungsdauer einer einfachen Liste (ohne Wechsel) mit der einer gemischten Liste (mit Wechsel) verglichen, hier in Form von computergestützt dargebotenen Experimentalblöcken. Die Differenz in der Bearbeitungszeit zwischen einfacher und gemischter Liste wurde als Wechselkosten interpretiert - als Zeit, die eine Vp benötigt, um sich auf eine neue Aufgabe einzustellen. Die Vpn in diesem Experiment brauchten mehr Zeit, um einen Block mit Wechsel der Entscheidungsaufgabe oder einen Block mit Wechsel der Reizdimension zu absolvieren als einen Block ohne jeden Wechsel. Der Wechsel zwischen kognitiven Aufgaben verursachte dabei gleich hohe Wechselkosten wie der zwischen perzeptuellen Aufgaben, also der Reizdimension. Musste beides gewechselt werden, Aufgabe und Dimension, ergaben sich keine höheren Kosten als bei Blöcken mit einfachem Wechsel. Dabei ist zu bemerken, dass es sich um korrelierte Wechsel handelte, d.h. Aufgabe und Dimension wechselten immer gleichzeitig. So war beispielsweise mit dem Zahlwert immer die Gerade-Ungerade-Aufgabe auszuführen, mit der Ziffernanzahl die Kleiner-Grösser-Aufgabe. Die Wechselkosten in vergleichbarer Höhe zeigten sich auch bei unterschiedlichen Antwortmodalitäten (Tastenreaktion vs. Sprachreaktion) und Aufgabenschwierigkeiten, wie etwa bei Aufgaben mit starker Interferenzkomponente (Farbe-Farbwort-Aufgabenwechsel).

Die Autoren zeigten sich überrascht von den einheitlichen Wechselkosten bei Aufgaben unterschiedlicher Schwierigkeit und vor allem bei Mehrfachwechseln gegenüber Einfachwechseln. Sie schlossen daraus auf die Existenz mehrerer unabhängiger und parallel arbeitender exekutiver Kontrollmechanismen, die funktionell spezialisiert sind. Anders als bei Jersild (1927) und Spector und Biederman (1976) traten auch Wechselkosten auf, wenn die Aufgaben eindeutig durch den Zielreiz festgelegt waren. Bei Allport et al. gab es allerdings zwischen den Blöcken unterschiedliche Reiz-Reaktions-Zuordnungen für verschiedene Ziffern- und Farbwort-Aufgaben. Kannten die Vpn nur eine Reiz-Reaktions-Zuordnung, ergaben sich keine Wechselkosten. Erst bei der Umstellung auf eine zweite, konkurrierende Zuordnung traten die Wechselkosten auf. Die Ursache für die Wechselkosten sahen die Autoren in proaktiver Interferenz einer vorangegangenen Reiz-Reaktions-Verbindung auf nachfolgende Aufgaben mit gleichen Reizmaterial aber unterschiedlicher Reaktionszuordnung. Sie nannten diesen Effekt *task-set-inertia*. Die Wirkung dieser proaktiven Interferenz wurde in einem weiteren Experiment belegt, bei dem Reize in

schneller Abfolge dargeboten wurden (RSVP = rapid serial visual presentation) und die Vpn einen Zielreiz in der Folge entdecken mussten. Nach einem Aufgabenwechsel war die Entdeckungshäufigkeit des Zielreizes zu Beginn einer Sequenz sehr niedrig und stieg mit jedem weiteren Item kontinuierlich an. Hsieh und Allport (1994) und Hsieh (1995) zeigten in weiteren Experimenten mit unterschiedlicher Itemfrequenz, dass die Wirkung der task-set-inertia itemabhängig abgebaut wird und dass es sich nicht (zumindest in kurzen Zeiträumen) um einen zeitabhängigen Prozess handelt.

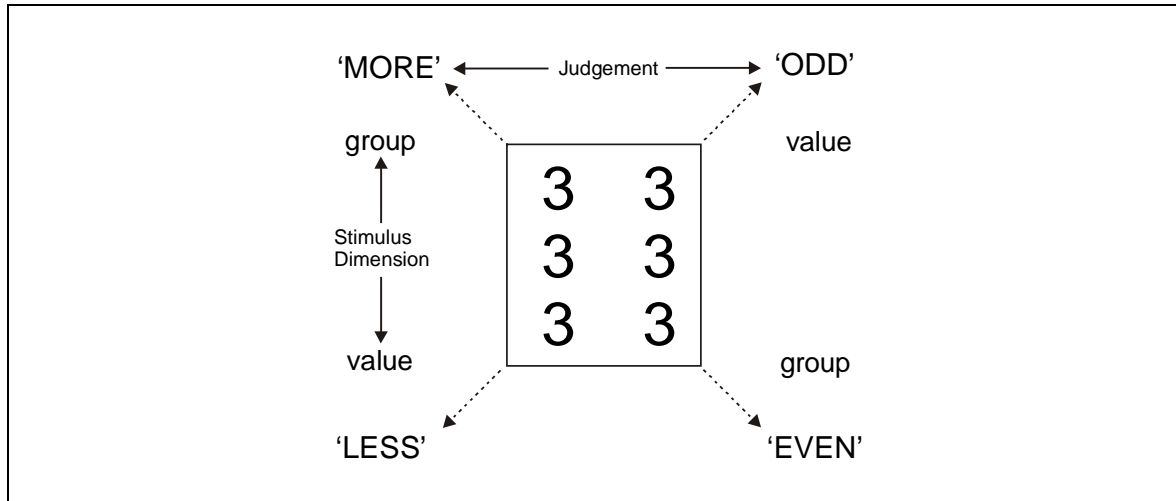


Abbildung 1.3 Entscheidungsaufgaben in den Experimenten von Allport et al. (1994).

Um den Einfluss der vorbereitenden Einstellung auf die Aufgabe zu untersuchen, wurde den Vpn von Allport et al. durch unterschiedlich lange Reaktions-Reiz-Intervalle im Experimentalblock die Möglichkeit einer intensiveren Vorbereitung gegeben. Durch längere Intervalle konnten die Wechselkosten reduziert werden, eine vollständige Beseitigung gelang jedoch nicht. Bei einem Intervall von etwa 500 ms zeigte sich das Minimum der residualen Wechselkosten. Für die Autoren legte das den Schluss nahe, dass eine komplette Vorbereitung auf eine neue Aufgabe nicht möglich ist – erst durch den externen Reiz gelingt die vollständige Umstellung.

Mit anderen Methoden und anderen Ergebnissen warteten Rogers und Monsell (1995) auf. Sie verwendeten ähnliche Aufgaben, wiederum die Gerade-Ungerade-Entscheidung mit einstelligen Ziffern; dazu eine Konsonant-Vokal-Unterscheidung bei Buchstaben. Ziffer und Buchstabe wurden gemeinsam in einem von vier Feldern eines unterteilten Rechtecks dargeboten (siehe Abbildung 1.4). Sie führten damit die Möglichkeit des *crosstalk* zwischen den Aufgaben ein: Adäquate Reize für unterschiedliche Aufgaben wurden gleichzeitig dargeboten und sorgten für Interferenz innerhalb eines Trials. Die Reize aktivieren *bottom up* beide Aufgaben, die beide bearbeitet werden und sich bei der Generierung der Antwort gegenseitig beeinflussen. Um das Ausmass der Interferenz abzuschätzen, wurde in der Versuchsbedingung *no crosstalk* neben dem aufgabenrelevanten Reiz ein irrelevantes Zeichen dargeboten.

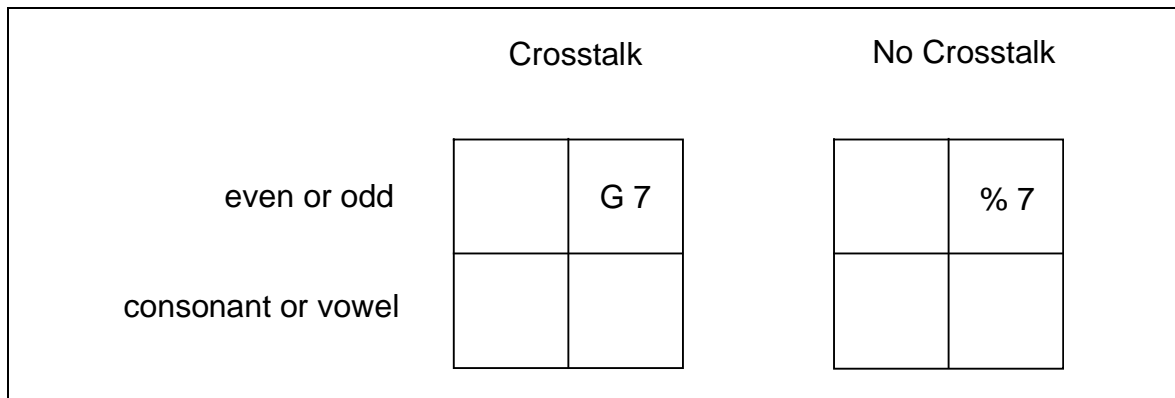


Abbildung 1.4 Experiment 1-3 von Rogers und Monsell (1995). In der oberen Hälfte des grossen Rechtecks war die gerade-ungerade Aufgabe auszuführen, in der unteren die Konsonant-Vokal Aufgabe. Die Crosstalk Bedingung (Ziffer und Buchstabe) ist auf der linken Seite dargestellt, rechts die No Crosstalk Bedingung (relevanter Reiz und Sonderzeichen).

Das Zielreizpaar wanderte im Uhrzeigersinn auf den vier Rechteckpositionen, die Position gab dabei die Art der Aufgabe an (z.B. die Ziffernaufgabe in den oberen Feldern, die Buchstabenaufgabe in den unteren). Dadurch war der Ablauf des Experiments für die Vpn perfekt vorhersagbar. Zweimal nacheinander war die eine Aufgabe zu bearbeiten, danach kam ein Wechsel zur anderen Aufgabe, die ebenfalls zweimal nacheinander zu bearbeiten war. Für diese Form der Darbietung führten die Autoren die Bezeichnung *alternating runs* (AA BB AA BB ...) ein. Der Vorteil der Darbietung in den vier Feldern eines Rechtecks bestand zudem darin, dass das Kurzzeitgedächtnis der Vpn entlastet wurde, die sich nun nicht mehr merken mussten, welche Aufgabe sie gerade bearbeitet hatten und welche als nächstes anstand. Anders als in den bisher geschilderten Experimenten verglichen Rogers und Monsell nicht komplette Blöcke mit und ohne Aufgabenwechsel. Bei ihnen gab es nur Blöcke mit Aufgabenwechsel und sie schauten innerhalb dieser Blöcke auf die einzelnen Trials. Die Aufgabe konnte sich im Vergleich zur vorangegangenen wiederholen (= Trials ohne Wechsel) oder es konnte ein Wechsel zur Komplementäraufgabe vollzogen werden. Der Vorteil gegenüber dem Vergleich von Blöcken wird schnell deutlich: Die Wechselkosten können besser abgeschätzt werden, da die Gedächtnisbelastung während eines Blocks eher konstant bleibt. Während sich die Vp bei einem Block ohne Wechsel nur eine Aufgabe, einen Satz von Reizen und ein Reiz-Reaktions-Schema merken muss, wird bei Blöcken mit Aufgabenwechsel das ständige Bereithalten von Informationen für zwei Aufgaben-Sätze erforderlich. Diese zusätzliche Belastung des Arbeitsgedächtnisses könnte sich auch auf die Wechselkosten auswirken. Weiterhin können auch die allgemeine Aktivierung und das Antwortkriterium zwischen Blöcken stärker schwanken als innerhalb eines Blocks.

Die Autoren fanden verzögerte Reaktionen nach einem Aufgabenwechsel unter verschiedenen Versuchsbedingungen. Die höchsten Kosten zeigten sich dabei in der Crosstalk-Bedingung, in der Reize für beide Aufgaben simultan dargeboten wurden (Abbildung 1.4, links). Wenn sich die Reaktionen auf die beiden möglichen Aufgaben in bezug auf die

Maustasten-Reaktion widersprachen (z.B. Ziffernaufgabe = linke Taste, Buchstabenaufgabe = rechte Taste), so ergab sich ein inkongruenter Trial. Bei gleichen Reaktionen auf die Aufgaben lag ein kongruenter Trial vor. Zusätzlich zu den hohen Wechselkosten in der Crosstalk-Bedingung waren die Reaktionen nochmals verlangsamt, wenn die Reize inkongruent waren. In der neutralen Bedingung, in der neben dem relevanten Reiz ein Zeichen platziert war, das nie reaktionsrelevant war (Abbildung 1.4, rechts), wurden die Reaktionszeiten und die Wechselkosten stark reduziert. Eine weitere Reduktion trat auf, wenn nur diese neutralen Reize innerhalb eines Blocks dargeboten wurden (No-Crosstalk-Bedingung). Rogers und Monsell sahen damit ihre Hypothese bestätigt, dass eine temporär irrelevante Aufgabe durch einen geeigneten Stimulus aktiviert wird. Die automatische Verarbeitung dieser Aufgabe bis auf die Antwortebene spiegelt sich dann in der Reaktionszeitdifferenz zwischen kongruenten und inkongruenten Trials wieder. Eine generelle Verlangsamung durch irrelevante Reize war aus der Differenz zur neutralen Bedingung und zur No-Crosstalk-Bedingung ersichtlich. Es überrascht hier, dass auch Wechselkosten in der No-Crosstalk-Bedingung vorliegen. Nach Ansicht von Spector und Biederman (1976) dürfte dies nicht passieren, wenn die Aufgaben eindeutig durch den relevanten Reiz bestimmt werden, was hier der Fall war. Allport et al. (1994) fanden ebenfalls keine Wechselkosten bei eindeutigen Zielreizen und ohne proaktive Interferenz - ein weiterer Widerspruch zum Ergebnis der No-Crosstalk-Bedingung. Der Versuch, die Wechselkosten durch längere Vorbereitungszeiten auf die Aufgabe (verlängertes Reaktions-Reiz-Intervall) zu eliminieren, schlug genauso fehl wie bei Allport et al. - es blieben residuale Wechselkosten. Es gelang wiederum nur eine Reduktion der Wechselkosten und zwar bis zu einem Intervall von 600 ms; bei längeren Intervallen zwischen 600 und 1200 ms zeigte sich keine zusätzliche Erleichterung. Die Reduktion blieb aus, wenn das Reiz-Reaktions-Intervall nicht während des gesamten Experimentalblocks konstant blieb, sondern im Bereich von 150 – 1200 ms zufällig schwankte. Die Vpn hatten keine Möglichkeit, sich auf den Zeitpunkt der Reizvorgabe einzustellen und nutzten daher die Vorbereitungszeit nicht optimal.

Um den weiteren Verlauf der Wechselkosten-Reduktion zu beurteilen, führten die Autoren ein Experiment mit längeren Aufgaben-Runs durch. Die *alternating runs* umfassten nun vier Items, d.h. viermal nacheinander wurde dieselbe Aufgabe vorgegeben, danach erfolgte ein Wechsel zum nächsten Run mit der Komplementäraufgabe mit wiederum vier Wiederholungen. Die Reize wanderten dabei in einer Vier mal Zwei Rechteck-Matrix. Eine Reduktion der Reaktionszeit war nur bei der ersten Wiederholung der Aufgabe aufgetreten, nicht mehr in den beiden nachfolgenden Wiederholungen. Das Ergebnis dieses Runs-Experiments widerspricht der Task-Set-Inertia Hypothese von Allport et al. (1994) mit einem kontinuierlichen Abbau von proaktiver Interferenz durch mehrfache Wiederholung der Aufgabe. Rogers und Monsell leiteten aus ihren Ergebnissen die Hypothese der *task set reconfiguration* ab. Danach besteht ein Aufgabenwechsel aus einer internen und einer externen Komponente. Die interne Komponente stellt die Vorbereitung auf die anstehende Aufgabe dar, also etwa eine vorbereitende Top-Down-Aktivierung eines Aufgabenschemas. Dass diese Vorbereitung keinen vollständigen Umstellungsprozess darstellt, belegen

die residualen Wechselkosten, die selbst bei sehr langen Vorbereitungsintervallen auftreten. Die abschliessende Einstellung auf die neue Aufgabe kann erst durch die externe Komponente vorgenommen werden, also wenn der aufgabenrelevante Reiz wahrgenommen und verarbeitet wird. Gemäss des Modells von Norman und Shallice (1986) sprechen die Autoren von einer Bottom-Up-Aktivierung von Aufgaben-Schemata (task sets). Unterstützt wird diese Annahme durch das Auftreten von Interferenz durch die Komplementäraufgabe in der Crosstalk-Bedingung. Die Einstellung auf die neue Aufgabe erfolgt mit der Wahrnehmung des Reizes - in einem *einzigsten* Durchgang, wie das Experiment mit den Vierer-Runs belegt. Alle nachfolgenden Aufgabenwiederholungen bringen keine Verbesserung der Antwortleistung mehr. Dieses Ergebnis spricht gegen die Task-Set-Inertia-Hypothese von Allport et al. (1994).

Rubinstein, Meyer und Evans (im Druck) untersuchten Wechselprozesse durch Sortieraufgaben mit geometrischen Figuren, ähnlich denen im Wisconsin Card Sorting Test (Heaton, 1981) und Rechenaufgaben (Addition, Subtraktion, Multiplikation und Subtraktion). Stimuluskarten mit Figuren mussten nach Anzahl, Form, Grösse und Helligkeit sortiert werden, bei den Rechenaufgaben mussten die Lösungen zu den Karten jeweils laut ausgesprochen werden. Die Bearbeitung erfolgte entweder ohne Wechsel oder mit ständigem Wechsel innerhalb eines Experimentalblocks. Aus den Bearbeitungszeiten von Blöcken ohne und mit Wechsel wurden danach die Wechselkosten ermittelt. Durch verschiedene Aufgabenkombinationen, also innerhalb der Sortier- und Rechenaufgaben oder zwischen diesen Aufgaben, konnte die Aufgabenaktivierung durch die Reize variiert werden. Die Komplexität der Verarbeitungsvorschriften wurde ebenfalls variiert. Bei den Rechenaufgaben hatten die Additionsaufgaben weniger komplexe Berechnungsvorschriften als die Divisionsaufgaben. Bei den Sortieraufgaben beinhaltete die hoch-komplexe Bedingung die Kategorisierung nach Merkmalskombinationen im Vergleich zu einfachen Merkmalen in der niedrig-komplexen Bedingung. Wechselkosten zeigten sich in allen Blöcken mit Aufgabenwechsel. Diese Kosten erhöhten sich mit steigender Komplexität und reduzierten sich mit steigender Aktivierung durch den aufgabenrelevanten Reiz. Die Autoren belegten mit diesen Ergebnissen ein Stufenmodell der exekutiven Kontrolle mit zwei additiven Schritten: Den *Zielwechsel* als endogene, top down gesteuerte Komponente und die *Regelaktivierung* als exogene, bottom up ausgelöste Komponente. Sie heben weiterhin besonders hervor, dass kein Aufgabenwechsel ohne den Zielwechsel als exekutiven Prozess möglich ist und sprechen sich damit gegen eine reine Reizaktivierung und -steuerung aus.

De Jong, Berendsen und Cools (1999) führten die Ursachen der residualen Wechselkosten auf die Unfähigkeit zurück, sich angemessen auf eine Aufgabe einzustellen und nennen diesen Effekt *goal neglect*. Zu den Aufgaben in ihrem Experiment gehörte die Positionsbestimmung von Worten auf einem Computermonitor (oben-unten) im Wechsel mit der Angabe der semantischen Bedeutung der gezeigten Worte (ebenfalls oben-unten) Über verschieden lange Vorbereitungsintervalle wurde die Möglichkeit zur Einstellung auf die Aufgabe manipuliert. Bei ausreichend langer Vorbereitungszeit gelang es den Vpn in



einem Teil der Versuchsdurchgänge, sich optimal auf die Aufgabe einzustellen und interferierende Informationen wirkungsvoll zu hemmen. In diesen Trials konnten sie genau so schnell und korrekt reagieren, wie bei Aufgaben ohne Wechsel. In anderen Durchgängen wiederum waren die Wechseltrials mit stark verzögerten Reaktionen verbunden, was mit einer schlechteren Einstellung auf die Aufgabe und damit verbunden stärkeren Wirkung von Interferenz durch Ablenker erklärt wurde. Wie bei Rubinstein et al. (im Druck) wurde also die zwingende Notwendigkeit einer top down gesteuerten Aufgaben- bzw. Zielkontrolle bestätigt.

Zusammenfassend lässt sich zu den bisherigen Ergebnissen der Aufgabenwechsel-Experimente folgendes festhalten: Kosten für den Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben entstehen durch die Umstellung auf ein neues Aufgabenschema. Sie lassen sie dadurch reduzieren, dass die Aufgabe im voraus bekannt ist und genug Zeit für eine Vorbereitung zur Verfügung steht. Wenn danach noch residuale Wechselkosten bleiben, so liegt das daran, dass der aufgabenrelevante Reiz als externale Komponente den Umstellungsprozess vervollständigt. Eine nicht optimale Einstellung auf die Aufgabe und interferierende Information durch ablenkende Reize können diese residualen Wechselkosten zusätzlich erhöhen. Die Interferenz wirkt dabei innerhalb eines Trials, kann aber auch auf nachfolgende Trials übertragen werden. Neben diesen direkten Umstellungsprozessen ist auch eine Arbeitsgedächtniskomponente als zusätzliche Belastung zu berücksichtigen, wenn Experimentalblöcke mit und ohne Wechsel verglichen werden.

Nach diesem Überblick über die Forschung zu den exekutiven Funktionen und zum Aufgabenwechsel bleibt nun noch die Rolle der visuellen Suche innerhalb dieser Untersuchung zu klären. Was es überhaupt mit der visuellen Suche auf sich hat und ob sie sich zur Untersuchung von Aufgabenwechsel-Effekten eignet, soll im nächsten Abschnitt erläutert werden.

## 1.4 Visuelle Suche

In den bisher geschilderten Experimenten zum Aufgabenwechsel wurden überwiegend kognitive Entscheidungs- und Klassifizierungsaufgaben verwendet. Häufig findet man Ziffern- und Buchstaben-Klassifizierungen oder semantische bzw. lexikalische Entscheidungsaufgaben. Die Aufgaben in allen bisher beschriebenen Experimenten wurden als visuelle Reizvorlage dargeboten. Es ist anzunehmen, dass hier auch Prozesse der visuellen Aufmerksamkeit beteiligt waren, die jedoch in diesen Experimenten unberücksichtigt blieben. Um die Effekte der selektiven visuellen Aufmerksamkeit im Paradigma des Aufgabenwechsels beurteilen zu können, wurde der Wechsel zwischen verschiedenen visuellen Suchaufgaben als Grundlage der Untersuchungen gewählt.

Um sich der Bedeutung der visuellen Aufmerksamkeit bewusst zu werden, sollte man sich deren Funktion vergegenwärtigen. Die visuelle Wahrnehmung erlaubt den Menschen, wie vielen anderen Organismen, die Orientierung in ihrer unmittelbaren räumlichen Umgebung und die Wahrnehmung von Objekten, mit denen sie interagieren wollen oder müssen. Sie

können ihre Aufmerksamkeit selektiv auf einzelne Objekte oder auf Teile von Objekten richten, um diese gezielt zu verarbeiten. Störende Informationen werden dabei meist effektiv herausgefiltert. Bei diesen Aufmerksamkeitsprozessen wirken zwei komplementäre Komponenten zusammen: Zum einen kann das Individuum die Ziele der visuellen Suche selbst festlegen, d.h. in einem *top down* gesteuerten Prozess nach bestimmten Objekten in der Umgebung suchen. Andererseits ziehen bestimmte Objekte in der Umgebung die Aufmerksamkeit des Individuums auf sich, die Steuerung erfolgt *bottom up*. Diese Prozesse können auch in der Art zusammenwirken, dass zielgerichtet gesuchte Objekte schneller entdeckt werden, wenn sie gleichzeitig die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Bei der zielgerichteten selektiven Aufmerksamkeit lag das besondere Interesse der Forschung bisher auf der Frage, wie stark die Kontrollmöglichkeiten des Beobachtenden sind. Kann die Aufmerksamkeit den relevanten Objekten zugewandt werden und ist es möglich, irrelevante Objekte zu ignorieren? Die reizgesteuerte Kontrolle der Aufmerksamkeit wirft hingegen die Frage nach den besonderen Eigenschaften der Objekte auf, die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Zur Beantwortung dieser Fragen wurden zum grossen Teil Experimente zur visuellen Suche unternommen, aus deren Ergebnissen wiederum Modelle zur visuellen Aufmerksamkeit aufgestellt wurden.

Wie schnell ein Objekt unter ablenkenden Reizen gefunden wird, hängt zum einen von der Unterschiedlichkeit von Zielreiz und Ablenkern ab, zum anderen auch von der Anzahl der Ablenker. Wolfe (1996) spricht von der Effizienz der visuellen Suche: Ein Zielreiz ist danach um so schneller aufzufinden, je stärker er sich von den ihn umgebenden Reizen unterscheidet. Ein Mass für die Effizienz der Suche ist dabei die Abhängigkeit von der Anzahl der Reize im visuellen Feld. Bei grossen Unterschieden zwischen Ziel und Ablenker, etwa in der Farbe oder Luminanz, kann die Entdeckung idealtypisch unabhängig von der Ablenkerzahl erfolgen. Das heisst, bei Unabhängigkeit der Suchzeit von der Ablenkerzahl ergibt sich eine flache Suchfunktion. Mit zunehmender Ähnlichkeit dieser Reize wird die Suchfunktion steiler, bis bei sehr geringen Differenzen die Objekte einzeln abgesucht werden müssen, um das Ziel zu entdecken. Für die effiziente Suche haben Treisman und Gelade (1980) die Bezeichnung *Pop-Out-Effekt* verwendet, da das Zielobjekt förmlich aus der Reizvorlage „herauszuspringen“ scheint. Neisser (1967) sprach in diesem Zusammenhang auch von der präattentiven parallelen Suche, bei der die Verarbeitung bei unbegrenzter Kapazität parallel an unterschiedlichen Orten innerhalb des gesamten visuellen Feldes erfolgt. Die Prozesse verlaufen weitgehend unabhängig von strategischer Kontrolle und sind eher automatisiert und reizgesteuert. Als anderes Extrem dazu erfolgt bei der attentiven seriellen Suche das Absuchen des visuellen Feldes Objekt für Objekt, unter aktiver Zuwendung von Aufmerksamkeit.

In Abbildung 1.5 sind Beispiele für die unterschiedlichen Suchprozesse dargestellt.

Neben diesen Suchprozessen wird eine weitere Unterscheidung nach dem Zielobjekt der visuellen Suche getroffen: Die Suche nach einzigartigen Merkmalen (*feature singletons*) und die Suche nach Merkmalskombinationen (*conjunction search*). Bei der *feature search*

kann die Suche nach einem Zielobjekt nach vielen unterschiedlichen Kriterien erfolgen, etwa nach der Form des Objekts, nach der Grösse, Farbe, Helligkeit oder Ausrichtung. Aber auch die Bewegung und die Bewegungsrichtung stellen Suchkriterien dar, ebenso wie das plötzliche Auftauchen (onset) im visuellen Feld. Einzigartige Merkmale können im visuellen Feld sehr schnell entdeckt werden, wenn der Unterschied zwischen Zielreiz und Ablenker gross genug ist - die Suche ist dann sehr effizient, erfolgt im Idealfall als parallele Suche. Sind Zielreiz und Ablenker jedoch sehr ähnlich, nimmt die Effizienz ab, es muss u.U. seriell gesucht werden.

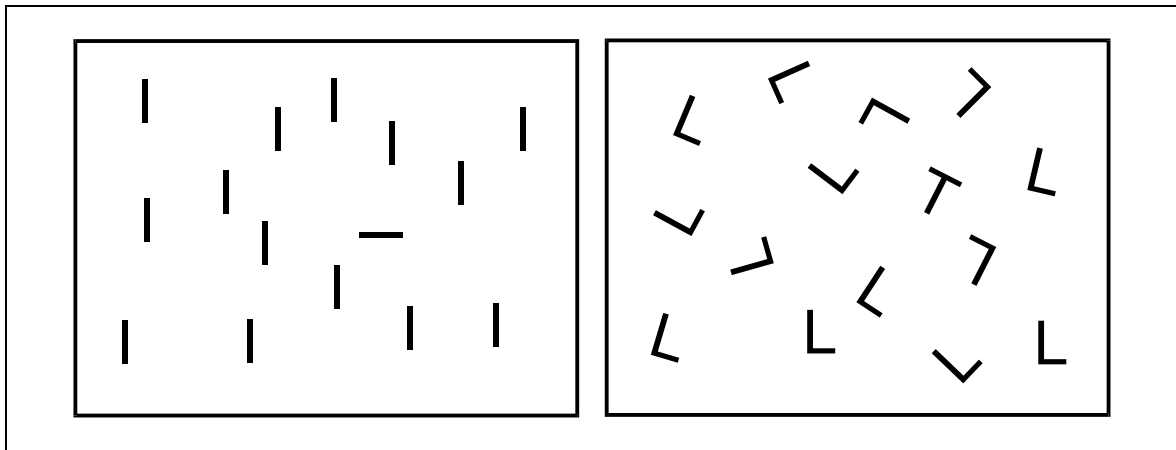


Abbildung 1.5 Beispiele für die parallele und die serielle Suche.

Links: Parallele (effiziente) Suche - finde den horizontalen Balken unter den vertikalen.  
Rechts: Serielle (ineffiziente) Suche - finde das T unter den L's.

Die Suche nach Merkmalskombinationen aus zwei oder mehr Objekteigenschaften, wie etwa die Suche nach einem roten Kreis unter blauen Kreisen und roten Rechtecken, setzt nach Treisman und Gelade (1980) hingegen immer die serielle Verarbeitung voraus. In ihrer Feature Integration Theory sind keine präattentiven Prozesse vorgesehen, die Merkmalskombinationen auffinden können. Diese Sichtweise blieb nicht lange unwidersprochen. Neben den Schwierigkeiten diverser Forschergruppen, die Ergebnisse von Treisman und Gelade bezüglich der streng seriellen Suche zu replizieren, mehrten sich empirische Hinweise auf eine unterschiedliche Effizienz innerhalb der *Conjunction Search* (siehe Wolfe [1996] für einen Überblick). Das Guided Search Model 2.0 von Wolfe (1994) erlaubt auch eine effiziente Suche von Merkmalskombinationen, indem präattentiv entdeckte Merkmale auf einer Aktivationskarte in ihrer Kombination eine besonders hohe Aktivierung verursachen.

Die theoretischen Konzepte, die zur visuellen Suche entwickelt wurden, beschäftigen sich vorwiegend mit der Interaktion verschiedener Steuerungsprozesse - insbesondere der zielgerichteten Top-Down- und der reizgetriebenen Bottom-Up-Steuerung. Diese sind eng verbunden mit der Unterscheidung zwischen automatischer (reizgetrieben) und kontrollierter Verarbeitung (zielgerichtet). Eine zusätzliche Unterscheidung bezüglich der zeitlichen Abfolge von Verarbeitungsstufen bringt die frühe bzw. späte Selektion. Präattentive parallele Prozesse werden danach auf einer frühen perzeptuellen Stufe automatisch und

reizgetrieben bearbeitet, eine kontrollierte serielle Verarbeitung wird hingegen einer späteren (höheren) Verarbeitungsstufe zugeordnet. Eine Reihe von Theorien zur visuellen Suche greifen diese Prozesse auf: Einfache und selektive serielle Modelle, Auswahl-Modelle (related choice models), Modelle mit unabhängigen Kanälen, Modelle mit begrenzter Kapazität und Wettlauf-Modelle. Eine Übersicht über diese verschiedenen Modellvorstellungen gibt Bundesen (1996). Zwei verbreitete und einflussreiche Theorien sollen nachfolgenden etwas näher erläutern werden, die *Feature Integration Theory* (FIT) von Treisman und Gelade (1980) und Treisman (1988) und das *Guided Search Model* von Cave und Wolfe (1990) bzw. die revidierte Form *Guided Search Model 2.0* von Wolfe (1994).

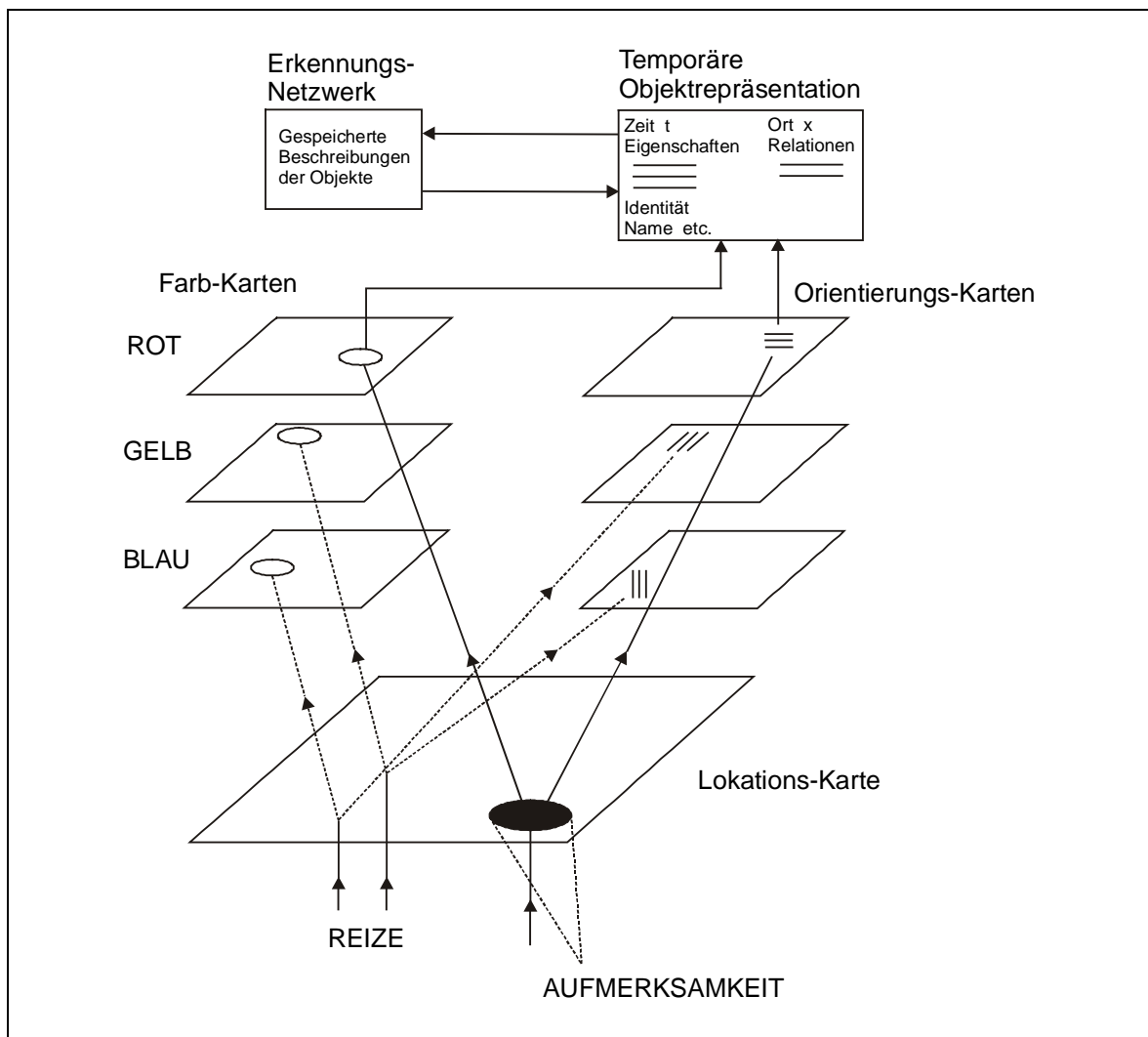


Abbildung 1.6 Verarbeitungsvorgänge nach der Feature Integration Theory (Treisman, 1988)

In der FIT (Abbildung 1.6) gibt es ein Zusammenspiel verschiedener Karten, die Informationen aus dem visuellen Abbild extrahieren. Neben einer Karte mit Ortsinformationen (map of locations) gibt es verschiedene Merkmalskarten (feature maps), die getrennt die unterschiedlichen Merkmale verarbeiten. Integriert werden alle Informationen in einer späteren Verarbeitungsstufe auf der Ebene der Objektrepräsentation, wo schliesslich die Vernetzung mit semantischer Information erfolgt. Die parallele Suche wird nach diesem

Modell möglich, wenn eindeutige Merkmale von Zielreiz und Ablenker auf verschiedenen Merkmalskarten registriert sind und ein Suchergebnis allein anhand der Karten gefunden werden kann, ohne eine Objektrepräsentation erstellen zu müssen. Ein zusammenhängender Satz von Karten wird dabei als Dimension bezeichnet. Ein Beispiel dafür wäre die Zusammenfassung der roten, gelben und blauen Karte zur Dimension *Farbe*. Die serielle Suche unter Einsatz von Aufmerksamkeit ist nötig, wenn Merkmale verbunden werden müssen (conjunction search) oder wenn eine Ortsbestimmung des Objekts auf der Lokations-Karte vorgenommen werden muss. Beide Prozesse erfordern eine Objekt-Repräsentation.

Cave und Wolfe (1990) haben die Idee der FIT aufgegriffen und das Modell der *Guided Search* vorgestellt. Wolfe (1994) hat dies Modell modifiziert zum Guided Search Model 2.0, dargestellt in Abbildung 1.7. Wie die FIT arbeitet auch das Guided Search Model mit Merkmalskarten, die ihre Informationen über reiz-(merkmals-)spezifische Input-Kanäle bekommen. Diese Kanäle erlauben die parallele Verarbeitung unterschiedlicher Merkmale bis auf die Ebene der Aktivierungskarte. Auf der Aktivierungskarte erfolgt nun die Suche nach dem Objekt mit der höchsten Aktivierung.

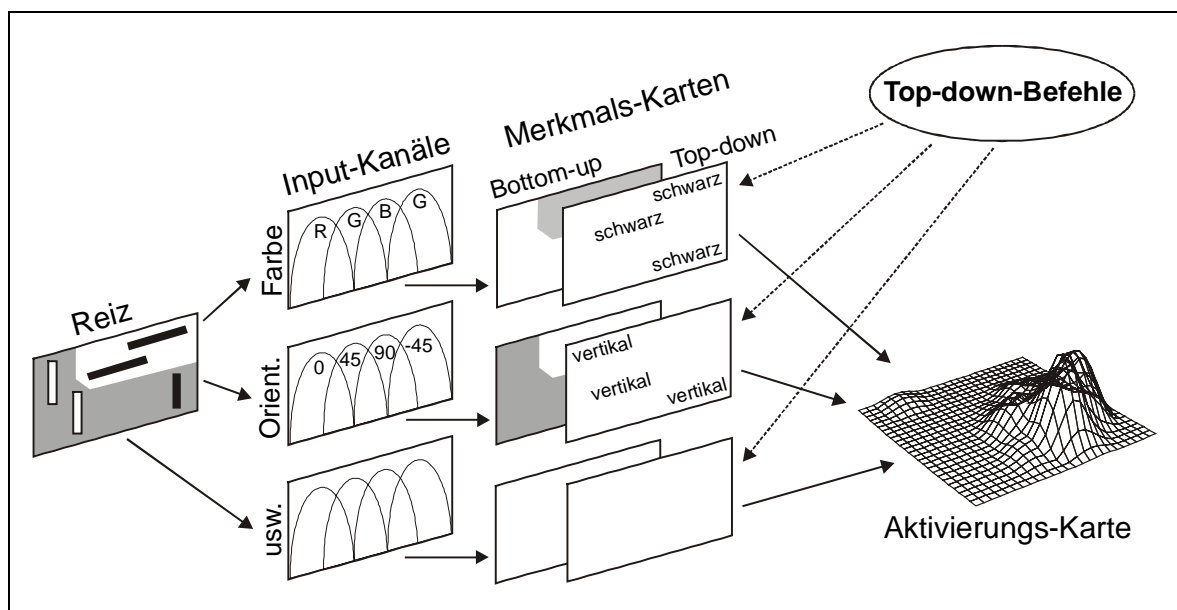


Abbildung 1.7 Guided Search Model 2.0 zur visuellen Suche (Wolfe, 1994).

Das Auffinden des Objekts kann sehr schnell erfolgen, wenn die Aktivierung sehr hoch ist, etwa bei einem roten Objekt unter vielen grünen oder kann durch das serielle Absuchen der Aktivierungskarte mit einem Aufmerksamkeitsscheinwerfer sehr lange dauern. Das ist oft bei der conjunction search der Fall. Hier lösen beispielsweise einige Objekte eine Aktivierung durch ihre Farbe aus, andere durch ihre Form, während nur das Zielobjekt eine zusätzliche Aktivierung durch Farbe *und* Form erfährt. Die Merkmalskarten unterliegen gleichzeitig der Einflussnahme durch Top-Down-Kontrollmechanismen. Dadurch wird die Grundaktivierung durch die Reizebene moduliert.

Einen tiefergehenden Überblick über die Mechanismen visueller Aufmerksamkeit und visueller Suche geben Theeuwes (1993), Wolfe (1996) und Yantis (1998).

In der vorliegenden Arbeit wurden die Aufgabenwechsel anhand der präattentiven, parallelen Suche untersucht, zum Teil mit gleichzeitig präsentierten Ablenkreizen, die für eine Alternativaufgabe einen adäquaten Reiz darstellten. Daher wird im folgenden auf Forschungsergebnisse zur parallelen Suche unter Berücksichtigung von Interaktionen zwischen zielgerichteten und reizgesteuerten Aufmerksamkeitsprozessen eingegangen. Besonders die Möglichkeiten zur intentionalen Kontrolle sind von Bedeutung: Ist es möglich, sich top down auf die Dimension oder ein bestimmtes Merkmal des zu suchenden Objektes einzustellen, bei gleichzeitiger Hemmung anderer Dimensionen und Merkmale? Oder zieht ein salienter Ablenker unwillkürlich die Aufmerksamkeit auf sich und es kommt zum sogenannten *attentional capture*?

Experimente mit dem *irrelevant singleton paradigm*, also der Darbietung eines nicht suchrelevanten, aber einzigartigen Ablenkers, kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Zu keiner Ablenkung der Aufmerksamkeit kam es beispielsweise bei Jonides und Yantis (1988). Die Suche nach einem Zielbuchstaben sollte durch einen irrelevanten Farb-, Helligkeits- oder Onsetreiz, der unkorreliert zum Zielreiz dargeboten wurde, gestört werden. Dass keine Ablenkung auftrat, könnte zum einen daran gelegen haben, dass der Ablenker keinerlei Relevanz für die Suchaufgabe hatte, andererseits, dass er über keine genügende Salienz verfügte. Mit einem ähnlichen Ergebnis konnte Theeuwes (1990) aufwarten. In einem vergleichbaren Experiment fand er keine Ablenkung durch farb- oder formabweichende *Singletons*. Die Variation von Merkmalskontrasten zwischen Zielreiz und Ablenker in Experimenten von Folk und Annett (1994) erbrachte selbst bei starken Kontrasten keine Ablenkung, ebensowenig wie bei bewegten Ablenkern in Experimenten von Hillstrom und Yantis (1994).

Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen berichten andere Autoren von einer Aufmerksamkeitslenkung durch Ablenker. Pashler (1988) liess seine Vpn einen Kreis unter Linien oder eine Linie unter Kreisen finden. Zwei Elemente hatten eine abweichende Farbe, die allerdings nie relevant war für die Suche (das Zielobjekt hatte nie eine abweichende Farbe). Die Anwesenheit der farbabweichenden Objekte setzte die Entdeckungsleistung der Vpn im Vergleich zu einheitlich farbigen Elementen herab - ein Anzeichen, dass die komplette Ausblendung irrelevanter Farbreize, die die Aufmerksamkeit auf sich ziehen, nicht möglich war.

Zu ähnlichen Ergebnissen kam Theeuwes (1992) mit folgendem Experiment: Auf einem imaginären Kreis waren farbige Rauten und Kreise angeordnet, in denen sich wiederum Linien mit unterschiedlicher Ausrichtung befanden. Die Aufgabe der Vpn war es, anzugeben, ob die Linie in dem formabweichenden Objekt horizontal oder vertikal verläuft. In einem Teil der Trials hatten alle Objekte die gleiche Farbe, in anderen Trials war einer der Ablenker in einer abweichenden Farbe dargestellt, die jedoch für die Aufgabe irrelevant war. Die Vpn reagierten langsamer in den Trials, in denen der farbabweichende Ablenker

dargeboten wurde, konnten diesen also nicht ignorieren. Im Gegensatz dazu beeinflusste ein irrelevanter formabweichender Reiz die Reaktionen nicht, wenn der Zielreiz durch die Farbe spezifiziert wurde. Diese Asymmetrie ist vermutlich auf die unterschiedliche Salienz von Farb- und Formreizen zurückzuführen. Der störende Einfluss eines Ablenkens trat nur auf, wenn die Vpn sich auch auf der Suche nach einem abweichenden Singleton befanden - Bacon und Egeth (1994) bestätigten diese Hypothese und sprachen vom *singleton detection mode* als Suchstrategie.

Theeuwes (1996) modifizierte das dargestellte Experiment, indem er anstatt der Linien-segmente die Buchstaben *L* und *R* innerhalb der Objekte darbot. Die Vpn sollten mit Druck auf eine linke Taste reagieren, wenn der Buchstabe *L* im Zielreiz dargeboten wurde und mit Druck auf die rechte Taste, wenn ein *R* dargeboten wurde. Wurde ein irrelevanter farbabweichender Ablenker gezeigt, so konnte dieser den gleichen oder einen verschiedenen Buchstaben enthalten. Bei dem gleichen Buchstaben waren die Reize *reaktions-kompatibel*, bei unterschiedlichen Buchstaben *reaktions-inkompatibel*. Die Reaktionen in der inkompatiblen Bedingung waren verzögert gegenüber der kompatiblen Bedingung, was nur möglich ist, wenn der ablenkende Reiz erkannt und verarbeitet wird. Theeuwes sah seine Hypothese bestätigt, dass die Aufmerksamkeit unwillkürlich räumlich verlagert wird auf das Objekt mit der höchsten Salienz und damit höchsten Aktivierung auf der Aktivierungskarte. Das Objekt wird wahrgenommen und verarbeitet, erst dann erfolgt die Verlagerung der Aufmerksamkeit auf den relevanten aber weniger salienten Zielreiz. Die Informationen über die Buchstaben in den beiden Objekten beeinflussen sich bei der Generierung der Antwort und es kommt zu einer verzögerten Reaktion bei inkompatiblen Reizen gegenüber kompatiblen. Dieser Kompatibilitäts-Effekt wäre nicht zustande gekommen, wenn gemäß der Alternativhypothese der ablenkende Reiz durch Top-Down-Kontrolle bereits auf der präattentiven Verarbeitungsstufe gehemmt werden kann.

Folk und Remington (1998) widersprachen der Auffassung von Theeuwes (1996) zur grundsätzlich räumlichen Ablenkung bei der Suche nach *feature singletons*. In ihren Experimenten folgte auf eine Ablenker-Reizvorlage eine Vorlage mit Zielreizen. Nach der kurzzeitigen Darbietung von ablenkenden farbigen Kreisen an einer von vier Zielpositionen um einen leeren Rahmen, folgte unmittelbar die Darbietung der Zielreize innerhalb dieser Rahmen, jetzt ohne die farbigen Kreise. Die Vpn sollten immer auf das rote oder grüne Element als Zielreiz achten und entscheiden, ob es ein **X** oder ein **=** ist. In der Bedingung *singleton* gab es nur einen farbigen Reiz, in der Bedingung *non-singleton* zwei unterschiedlich farbige Reize (rot und grün) gleichzeitig, einen Zielreiz und einen ablenkenden Farbreiz. Die Reaktionen der Vpn waren verzögert, wenn der Ablenker an einer anderen Position auftauchte als der Zielreiz – jedoch nur, wenn Ablenker und Zielreiz die gleiche Farbe hatten. Ein Ablenker in einer Farbe, die nicht relevant war für die Suche, hatte keinen verzögernden Einfluss auf die Reaktionen. Dieser Effekt trat in der *singleton* Bedingung auf, in der im Modus *singleton search* nach dem Zielreiz gesucht wird, wie auch in der *non-singleton* Bedingung, in der im Modus *feature search* gesucht wird. Dieses

Ergebnis ist inkonsistent mit einer strengen Sichtweise der reizgesteuerten Lenkung der Aufmerksamkeit bei der visuellen Suche, besonders bei der Suche nach einem singleton Reiz. Bei reiner Bottom-Up-Steuerung dürfte nur die Salienz des Reizes die Lenkung der Aufmerksamkeit bestimmen. Der grüne Ablenker sollte also die gleiche Wirkung haben wie der rote – was nicht der Fall war. Vielmehr besteht die Möglichkeit, die räumliche Aufmerksamkeitszuwendung durch Top-Down-Kontrolle zielgerichtet zu beeinflussen, so dass nur noch ausgewählte Reizmerkmale Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Auf diese Weise wirkt nur ein Ablenker mit der identischen Eigenschaft zum Zielreiz, etwa der rote Ablenker auf den roten Zielreiz.

Die Bedeutung der Relevanz des Ablenkers betonten auch Yantis und Egeth (1999). Bei einer ineffizienten Suche von vertikalen unter geneigten Balken wurde zusätzlich ein salienter abweichender Balken (Farbe, Helligkeit, Bewegung oder Grösse) dargeboten. Eine Ablenkung erfolgte jedoch nur, wenn eine hohe Korrelation zwischen den Orten von Zielreiz und Ablenker vorlag, also wenn die ablenkende Eigenschaft handlungsrelevante Informationen für die Vpn liefert. Die Vpn konnten also den salienten Reiz nutzen, wenn er sie zum Zielort führte, ihn aber auch ignorieren, wenn seine Beachtung keinerlei strategische Vorteile brachte. Durch diese Ergebnisse wurde gezeigt, dass die bottom up gesteuerte Aufmerksamkeitslenkung nur im Zusammenhang mit top down festgelegten Suchstrategien funktioniert und eine vollständig automatische Ablenkung nicht zu erwarten ist.

Weitere Möglichkeiten zur intentionalen Kontrolle bei visuellen Suchprozessen belegen die Experimente von Müller, Heller und Ziegler (1995). Bei ihnen gab es keine salienten ablenkenden Reize, sie untersuchten statt dessen die abwechselnde visuelle Suche in unterschiedlichen Zieldimensionen. Sie schlagen eine Gewichtung der Dimensionen vor, in denen die Zielreize gesucht werden. Auf einer (Master-) Aktivierungskarte wird die gewichtete Summe von dimensionsspezifischen Salienzsignalen berechnet. Die Gewichtung bei der Berechnung kann durch Top-Down-Prozesse beeinflusst werden, etwa wenn vor der Suche bekannt ist, innerhalb welcher Dimension gesucht werden soll. Bei unbekannter Zieldimension ist ein zusätzlicher Prozess für die Verlagerung der Gewichtung notwendig. Die Leistung beim Auffinden eines Zielreizes ist dann abhängig von der Voreinstellung der Dimensionsgewichtung aus dem vorangegangenen Trial. Bei identischer Zieldimension liegt bereits die richtige Einstellung vor, bei unterschiedlicher Dimension muss eine Verschiebung der Gewichtung vorgenommen werden. In weiteren Experimenten haben Found und Müller (1996) belegt, dass diese Gewichtungseffekte dimensionsspezifisch und nicht merkmalspezifisch sind. In einem ihrer Experimente mussten Versuchspersonen eine Entdeckungsaufgabe mit farb- und richtungsabweichenden Reizen ausführen, in einem weiteren Experiment sollten die Zielreize identifiziert werden (Farbabweicher vs. Richtungsabweicher). In beiden Experimenten ergab sich ein Vorteil für das Auffinden des abweichenden Reizes, wenn sich die Zieldimension bezüglich des vorangegangenen Trials wiederholte. Solche Wiederholungseffekte konnten für die Merkmals-ebene nur zum Teil gefunden werden, nämlich für die Suche nach dem farbabweichenden



Reiz im Identifizierungsexperiment. Die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Antwortgenerierung (response mapping) schlossen die Autoren weitgehend aus, da beide Experimente trotz unterschiedlicher response mappings vergleichbare Ergebnisse lieferten.

Zusammenfassend kann aus den bisherigen experimentellen Ergebnissen geschlossen werden, dass es möglich ist, die Suche nach abweichenden Reizen durch Top-Down-Kontrolle zu beeinflussen, etwa durch eine Gewichtung der Zieldimension, wenn diese im voraus bekannt ist. Bei mehreren abweichenden Reizen im visuellen Feld kann es zur Ablenkung vom eigentlichen Zielreiz kommen, der Ablenker muss dazu aber ein salienter Reiz sein und ausserdem eine gewisse Relevanz bei der Zielsuche haben, etwa einen strategischen Vorteil bieten. Ansonsten ist eine Hemmung der irrelevanten Information im visuellen Feld durch kontrollierte Prozesse sehr effektiv möglich.

## 1.5 Aufgabenwechsel bei visueller Suche

Nach einem Überblick über die exekutiven Funktionen des menschlichen Gehirns und den Forschungsstand zum Aufgabenwechsel und zur visuellen Suche steht in diesem Abschnitt die Frage im Mittelpunkt des Interesses, wie Aufgabenwechsel und visuelle Suche zur Untersuchung der kognitiven Kontrollfunktionen kombiniert werden können.

Die vorher beschriebenen Experimente zum Aufgabenwechsel enthielten bereits Elemente der visuellen Suche. Zum einen handelte es sich ausschliesslich um visuelle Reizvorlagen, zum anderen fand eine Verlagerung räumlicher Aufmerksamkeit auf einen Zielreiz statt. Bei diesen Experimenten wurden mehrere Reize gleichzeitig dargeboten, von denen nur einer aufgabenrelevant war. Dieser Reiz musste beachtet werden, die übrigen Reize sollten ignoriert werden. Die Auswirkungen der räumlichen Aufmerksamkeitsverteilung wurde dabei kaum beachtet. Allport et al. (1994) variierten beispielsweise die räumliche Distanz zwischen den Reizen, jedoch nur, um die Aufgabenschwierigkeit zu manipulieren – visuell-räumliche Aufmerksamkeitseffekte wurden nicht untersucht.

Wechseleffekte wurden auch schon in Experimenten zur visuellen Suche untersucht, wie etwa bei Müller, Heller und Ziegler (1995) und Found und Müller (1996) (siehe oben). Die Autoren sprachen dabei von einer Wiederholung oder einem Wechsel der Reizdimension bzw. des Reizmerkmals. Diese Experimente wurden nicht im Zusammenhang mit dem Paradigma des Aufgabenwechsels gesehen. Vielmehr standen Aspekte der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit im Vordergrund, jedoch auch die vorbereitende Dimensionsgewichtung als Möglichkeit intentionaler Kontrolle.

In der vorliegenden Arbeit wurden die beiden Paradigmen – Aufgabenwechsel und visuelle Suche – miteinander verbunden. Ziel war es, das Paradigma des Aufgabenwechsels über kognitive Entscheidungsaufgaben hinaus auszudehnen und Aspekte der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit mit einzubeziehen. Gleichzeitig konnten Fragen der Top-Down-Einflussnahme bei der visuellen Suche aufgegriffen werden. Mit den Verarbeitungsstufen *Wahrnehmung* des aufgabenrelevanten Reizes, *Klassifizierung* anhand einer Reizeigenschaft und

Generierung einer *Antwortreaktion* sollte dem Ablauf der Aufgabenverarbeitung zunächst die grösstmögliche Nähe zu den klassischen Wechselaufgaben gegeben werden. Der einzige Unterschied lag in der Verarbeitungsstufe *Wahrnehmung*, die zusätzlich die visuelle Suche beinhaltet.

Nun stellte sich zunächst die Frage, ob bei der abwechselnden Bearbeitung der Such- und Klassifizierungsaufgaben Wechselkosten entstehen und ob diese ein ähnliches Ausmass haben, wie in den klassischen Aufgabenwechsel-Experimenten. Beim Vorliegen von Wechselkosten schliesst sich unmittelbar die Frage an, wie diese Kosten reduziert werden können. Genauer gesagt, welche Möglichkeiten ergeben sich, die Umstellungsprozesse durch Vorbereitung auf die Aufgabe durch eine internale Komponente vorwegzunehmen. In den bisherigen Aufgabenwechsel-Experimenten war dies nur in begrenztem Umfang möglich, es blieben stets residuale Wechselkosten bestehen. Als Ursache für diese residualen Wechselkosten wurde eine zusätzliche externale Umstellungskomponente angesehen, deren Abarbeitung erst durch den aufgabenrelevanten Reiz erfolgen kann. Da die externale Komponente anfällig ist für Interferenz von der Reizebene, bietet es sich an, diese mittels zusätzlicher interferierender Information durch einen salienten Ablenker genauer zu untersuchen. Um eine Unterscheidung zu den anderen, homogenen Ablenkern im visuellen Feld zu ermöglichen, wird im folgenden die Bezeichnung *Einzelablenker* (singleton distraktor) verwendet werden. Wenn also die räumliche Aufmerksamkeit auf den Einzelablenker gezogen wird, bei gleichzeitiger Verarbeitung seiner Reizmerkmale, so sollte auch dieser der externalen Umstellungskomponente unterworfen sein. Das heisst, dass dieser irrelevante Reiz ebenfalls ein Aufgabenschema aktiviert. Die parallele Aktivität zweier Aufgabenschemata sollte interferenzbedingt einen Einfluss auf die Umstellungsprozesse haben und die Aufgabenwechselkosten erhöhen. Wenn auch für den Einzelablenker eine Antwortreaktion generiert wird, sollte zusätzlich ein Konsistenzeffekt in Form von verzögerten Reaktionen bei widersprüchlichen Antworten entstehen. Ein Konsistenzeffekt spräche also unmittelbar für die Lenkung der räumlichen Aufmerksamkeit auf einen Einzelablenker, die für eine Verarbeitung der Identität notwendig ist. Tritt kein Konsistenzeffekt auf, kann der Einzelablenker durch Top-Down-Prozesse unterdrückt werden, so dass er nicht verarbeitet wird.

Diese Konsistenzeffekte geben Aufschluss über die Interferenz, die innerhalb eines Trials wirkt. Eine andere Form der Interferenz existiert nach Allport et al. (1994) zwischen aufeinanderfolgenden Trials. Durch proaktive Interferenz (task-set inertia) beeinflusst ein etabliertes Aufgabenschema die Bearbeitung der unmittelbar nachfolgenden Aufgaben. Das wird besonders deutlich, wenn zuvor ein Wechsel zu einer anderen Aufgabe zu vollziehen war. Ist nach dem Wechsel noch Reizmaterial für das alte Aufgabenschema vorhanden (z.B. als Einzelablenker), so wird das alte Schema, das noch eine starke Aktivierung aufweist, gemeinsam mit dem neuen Schema durch die Reizebene erneut aktiviert und stört die Bearbeitung der aktuellen Aufgabe. Diese Interferenz wird mit der Bearbeitung mehrerer Trials nach und nach abgebaut. Daher sollte die Leistung der Vpn mit einer Abfolge

von Aufgabenwiederholungen kontinuierlich steigen. Dieser Abbau der Reaktionszeit ist in Abbildung 1.8 (links) schematisch dargestellt. Rogers und Monsell (1995) widersprachen dieser Annahme und gehen von einer einmaligen Einstellung auf die neue Aufgabe aus (task-set reconfiguration) - mit weiteren Aufgabenwiederholungen erfolgt demnach keine Reaktionszeit-Reduktion mehr (siehe Abbildung 1.8, rechts).

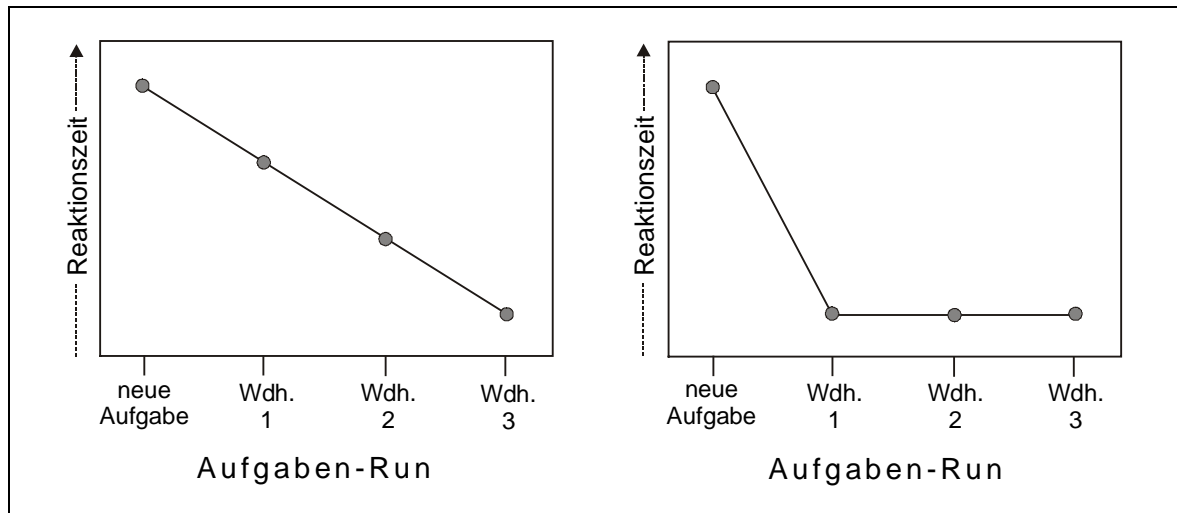


Abbildung 1.8 Reaktionszeiten in Abhängigkeit von der Position im Aufgaben-Run gemäss der Task-Set-Inertia-Hypothese (links) und der Task-Set-Reconfiguration-Hypothese (rechts).

Eine Besonderheit, die die Experimente zum Aufgabenwechsel bei visueller Suche bieten, ist die Möglichkeit, die beiden Verarbeitungstufen *Reizentdeckung* und *Reizklassifizierung* zu trennen. So kann abgeschätzt werden, welchen Anteil an den Wechselkosten die Reizentdeckung hat und ob auf dieser frühen Verarbeitungsstufe die gleichen Wechseleffekte auftreten, wie bei der Klassifizierung. Bereits Müller et al. (1995) und Found und Müller (1996) haben die Dimensionsgewichtung als vorbereitende Einstellung auf die abzusuchende Reizebene untersucht und damit Möglichkeiten intentionaler Kontrolle aufgezeigt. Weiterhin soll auch der Einfluss von Einzelablenkern auf die Entdeckungsleistung untersucht werden, um zu klären, wie effektiv die Dimensionsgewichtung ist.

Eine weitere Stufe bei der vollständigen Bearbeitung einer Aufgabe ist die Antwortreaktion, die sich sowohl an reine Entdeckungs- als auch an Klassifizierungsaufgaben anschliesst. Auch bei Antwortreaktionen treten Wechseleffekte auf, beispielsweise zwischen zwei alternativen motorischen Reaktionen. Neben der Frage, ob die Umstellung der motorischen Antwort zu den Aufgabenwechselkosten beiträgt, soll geklärt werden, wie eng die Verbindung zu den Aufgabenschemata ist, also ob sich Interaktionen zwischen Aufgaben- und Reaktionswechseln ergeben.

Zur Untersuchung der hier geschilderten Zusammenhänge wurden insgesamt vier Experimente durchgeführt. In allen Experimenten mussten farb- und formabweichende Reize durch effiziente visuelle Suche entdeckt werden. Die Effizienz der Suche wurde jedoch nicht experimentell überprüft, sondern es wurden Reizkombinationen verwendet, deren

Sucheffizienz bereits belegt wurde (Wolfe, 1996). Im ersten Experiment mussten die Vpn eine Klassifizierung von Reizen nach dem abweichenden Merkmal vornehmen. Die Bearbeitung der Aufgaben erfolgte jeweils mit und ohne Vorbereitungsmöglichkeit durch einen Hinweisreiz und in einer Versuchsbedingung unter zusätzlicher Darbietung eines irrelevanten Einzelablenkers. Experiment II befasste sich speziell mit dem Übertrag von Interferenz auf nachfolgende Trials als Ursache für Wechselkosten. Hier wurden längere Abfolgen von Aufgabenwiederholungen anstatt zufälliger Wechsel untersucht. Im dritten Experiment wurde auf spezielle Fragestellungen zur Wirkung von ablenkenden Reizinformationen eingegangen und im vierten Experiment war von den Vpn eine reine Entdeckungsaufgabe auszuführen. Durch die ausschliessliche Reizentdeckung konnten Effekte des Dimensions-, Merkmals- und Reaktionswechsels aus der Gesamtaufgabe (Entdeckung und Klassifizierung) zur separaten Beurteilung herausgelöst werden.

Die Analyse der Wechseleffekte erfolgte in allen Experimenten auf unterschiedlichen Ebenen, der Ebene der Blockeffekte und der sequentiellen Effekte. Bei den Blockeffekten wurde die Darbietung nur einer Suchaufgabe im Block verglichen mit der abwechselnden Darbietung beider Aufgaben innerhalb eines Blockes. Ein Reaktionszeit-Unterschied zwischen diesen Bedingungen kann als Blockeffekt des Aufgabenwechsels interpretiert werden. Längere Reaktionszeiten im Wechselblock deuten auf zusätzliche Prozesse und Belastungen durch den Aufgabenwechsel hin. Auf der Ebene der sequentiellen Effekte konnten unterschiedliche Abfolgen analysiert werden, die der Entscheidungsaufgaben, der Antwortreaktionen und der Dimensions- und Merkmalswechsel. So wurde beispielsweise die Aufgabenabfolge innerhalb eines Wechselblocks dahingehend analysiert, ob gleiche Aufgaben aufeinander folgten oder ob ein Wechsel in Bezug auf den vorangegangenen Trial zu vollziehen war. Damit erfolgte eine Bereinigung der Wechselkosten-Effekte um die ungleiche Belastung des Arbeitsgedächtnisses bei reinen Blöcken im Vergleich zu den Wechselblöcken. Die Analyse der Reaktionsabfolge gibt zusätzlich einen Hinweis auf mögliche Verknüpfungen mit dem Aufgabenwechsel. Dimensions- und Merkmalswechsel wurden abschliessend als sequentielle Effekte isoliert im Entdeckungsexperiment beurteilt.

Durch diese Reihe von Experimenten sollte Folgendes geklärt werden: Die grundlegende Frage ist die nach der Existenz von Wechselkosten. Wenn Wechselkosten vorliegen, so schliesst sich die Frage an, ob die Wechseleffekte vergleichbar sind zu denen in den klassischen Aufgabenwechsel-Experimenten und ob gleiche Kosten bei den Blockeffekten wie bei den sequentiellen Effekten auftreten. Durch das Entdeckungsexperiment sollte geklärt werden, welchen Anteil ein Wechsel der Reizdimension, des Reizmerkmals und der Antwortreaktion an den Gesamtkosten hat. Weiterhin stand die intentionale Kontrolle im Mittelpunkt des Interesses: Lassen sich die Wechselkosten auf allen Verarbeitungsstufen durch Kontrollmechanismen (Vorbereitung) reduzieren oder gar eliminieren? Den letzten Fragenkomplex bildete der Einfluss von Interferenz auf die visuelle Suche und die Umstellungsprozesse beim Aufgabenwechsel: Können Einzelablenker als zusätzliche Reize ignoriert werden? Entstehen durch Einzelablenker Ablenkeffekte oder Konsistenzeffekte?

Beeinflusst die Interferenz die Wechselkosten? Wie ist der Übertrag von Interferenz auf nachfolgende Trials und der damit verbundene Einfluss auf die Wechselkosten?

## 2. Experiment I

In diesem Experiment war es die Aufgabe der Vpn, farb- oder formabweichende Reize zu entdecken und die Eigenschaft des abweichenden Merkmals anzugeben. In einem Teil des Experiments erfolgte die Suche nach einem eindeutigen Zielreiz, jeweils mit und ohne Möglichkeit der Vorbereitung durch einen Hinweisreiz auf die Aufgabe. In einem weiteren Teil wurde je ein Zielreiz für beide Suchaufgaben gleichzeitig dargeboten, so dass immer ein zusätzlicher Ablenkreiz (Einzelablenker) zu sehen war. Die Bearbeitung erfolgte dabei nur mit vorgeschaltetem Hinweisreiz; dieser war notwendig, um die Aufgabe zu spezifizieren. Alle Aufgaben wurden auch als Blöcke ohne Wechsel dargeboten, so dass eine Überprüfung der Wechselkosten als Blockeffekt vorgenommen werden konnte. Zusätzlich erfolgte die Analyse der Daten auf sequentieller Ebene – hierbei wurden Aufgabenwechsel-Effekte innerhalb der Wechselblöcke und der Einfluss von Reaktionswechseln untersucht. In den Blöcken mit Einzelablenker waren ausserdem Interferenzeffekte (Ablenk- und Konsistenzeffekte) Ziel der Untersuchungen.

Es wurde erwartet, dass der Wechsel der Entscheidungsaufgabe mit Kosten in Form von Reaktionszeitunterschieden verbunden ist, die als Blockeffekt einen ähnlichen Umfang haben, wie als sequentieller Effekt. Die Darbietung eines Hinweisreizes zur Vorbereitung auf die Aufgabe sollte die Wechselkosten reduzieren oder eliminieren. Für den Wechsel der Antwortreaktion wurde ebenfalls mit Kosten gerechnet, d.h. durch einen Reaktionswechsel sollten die Bearbeitungszeiten verzögert sein gegenüber wiederholten Antwortenreaktionen.

Die Interferenz in Form eines Einzelablenkers kann ihren Einfluss in zwei möglichen Varianten ausüben: Ist es den Vpn möglich, den Einzelablenker vollständig zu ignorieren, so erfolgt keine Auswirkung auf die Bearbeitungsleistung, auch nicht auf die Wechselkosten. Ist eine Hemmung durch Top-Down-Steuerung nicht möglich, sollten zusätzliche Bearbeitungsschemata aktiviert werden und die Verarbeitung bis hin zur Antwortebene (Konsistenzeffekt) stören, mit daraus resultierenden erhöhten Aufgabenwechselkosten.

### 2.1 Methode

#### 2.1.1 Reize

Als Reize wurden im ersten Experiment grüne Ringe als homogene ablenkende Reize dargeboten. Rote und blaue Ringe sowie grüne Rechtecke und Dreiecke dienten als Zielreize oder als Einzelablenker. Der Hintergrund war einheitlich schwarz.

Die Ringe hatten einen Durchmesser von  $0,63^\circ$  Sehwinkel. Die Rechtecke waren  $0,72^\circ$  hoch und  $0,45^\circ$  breit; die Dreiecke waren ebenfalls  $0,72^\circ$  hoch und hatten an der Grundseite eine Breite von  $0,54^\circ$  Sehwinkel. Alle Figuren hatten eine Dicke (Linienstärke) von  $0,09^\circ$  Sehwinkel. Alle Angaben beziehen sich auf eine Distanz zwischen Vp und Monitor von etwa 127 cm.

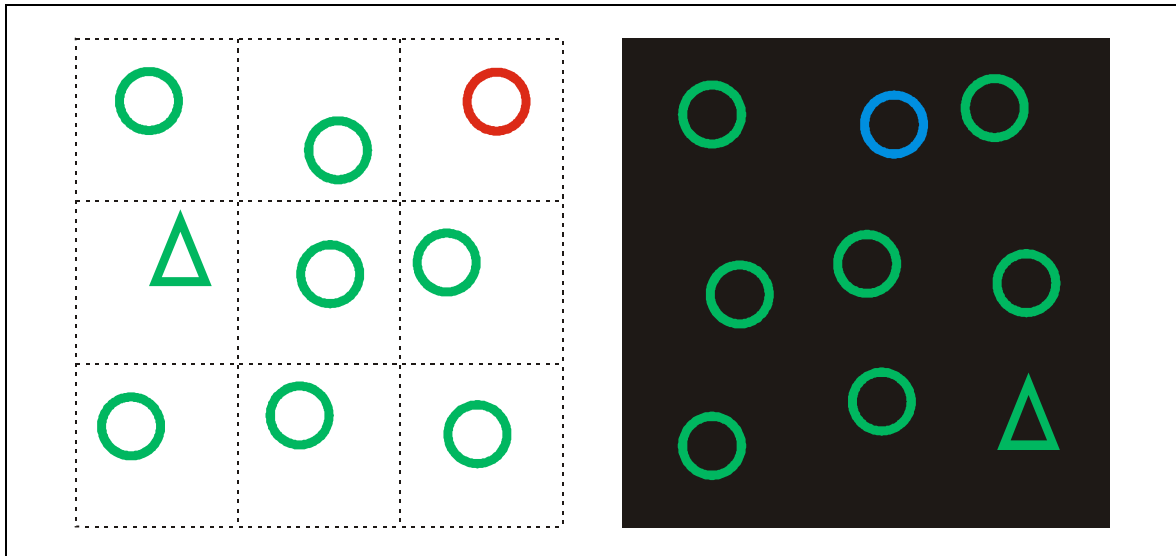


Abbildung 2.1 Beispiel für die Testreiz-Darbietung. Links ist die Positionierung der Reize im  $3 \times 3$  Gitter dargestellt, rechts das Display, das die Vpn zu sehen bekamen. Hier sind ein Zielreiz und ein Einzelablenker dargestellt. Rechts oben ist ein farbabweichender, links in der Mitte ein formabweichender Reiz zu sehen.

Jede Abbildung bestand aus neun Elementen, die in einem  $3 \times 3$  Gitter (siehe Abbildung 2.1) angeordnet waren, das für die Vpn jedoch nicht sichtbar war. Das Gitter hatte eine Gesamtgrösse von  $6,45^\circ \times 6,45^\circ$  Sehwinkel. In jeder Zelle der Grösse  $2,15^\circ \times 2,15^\circ$  wurden die Reize zufällig positioniert, d.h. die den Reizen zugrunde liegenden Pixel-Abbildungen mit einer Grösse von  $0,81^\circ \times 0,81^\circ$  konnten an jeder beliebigen Position innerhalb der Zelle erscheinen.

Als Hinweisreiz wurde entweder ein weisses Kreuz der Grösse  $0,70^\circ$  mal  $0,70^\circ$  Sehwinkel dargeboten oder die Worte **FARBE** bzw. **FORM** in weisser Schrift (Schriftart Arial) in einer Grösse von  $1,44 - 1,63^\circ$  (horizontal) mal  $0,45^\circ$  Sehwinkel (vertikal).

### 2.1.2 Versuchsaufbau

Die Reize wurden über einen IBM-kompatiblen Personalcomputer auf einem 19 Zoll Farbmonitor mit einer Auflösung von  $1280 \times 1024$  Pixel, einer Bildwiederholfrequenz von 75 Hz und einer Farbauflösung von 256 Farben dargeboten. Der Versuchsraum war vollständig abgedunkelt und wurde nur durch eine 25 Watt starke Lampe hinter dem Monitor erhellt. Um den Abstand zwischen dem Monitor und den Augen der Vp konstant auf 127 cm zu halten, sass die Vp an einem Tisch mit Kopfstütze (Kinn- und Stirnabstützung). Auf dem Tisch vor der Vp befand sich zur Ausführung der Zielreaktion eine Zweitastenmaus.

Alle Vpn reagierten mit Zeige- und Mittelfinger der rechten Hand. Die Zuordnung der Zielreize zu den Tasten wurde unter den Vpn ausbalanciert. Eine falsche Reaktion wurde den Vpn durch einen Signalton zurückgemeldet. Die Aufzeichnung der Reaktionszeiten und Fehler erfolgte ebenfalls über den Personalcomputer.

### 2.1.3 Ablauf

In dem Experiment gab es drei Bearbeitungsbedingungen, die jeweils in Experimentalblöcken dargeboten wurden: Die erste Bedingung erforderte die Bearbeitung von Aufgaben *ohne (Einzel-)Ablenker* und *ohne Vorbereitungsmöglichkeit*. Hier wurde zunächst für 400 ms ein Fixationskreuz dargeboten, nach einem Intervall von 700 ms mit leerem Monitor erschienen dann die Testreize, die bis zur Tastenreaktion sichtbar blieben. Die Messung der Reaktionszeit begann mit dem Erscheinen der Reize und endete mit der Tastenreaktion. Nach einem Inter-Trial-Intervall von 1000 ms folgte der nächste Durchgang. In jedem Durchgang wurde genau ein Zielreiz mit einer Zieleigenschaft dargeboten, so dass die zu bearbeitende Aufgabe festgelegt war. Der Zielreiz konnte an allen Gitterpositionen mit Ausnahme der mittleren Position erscheinen. Die Vpn hatten bei der Farbaufgabe zu entscheiden, ob der abweichende Reiz rot oder blau ist, bei der Formaufgabe, ob der abweichende Reiz ein Dreieck oder ein Rechteck ist.

In der zweiten Bedingung, die *ohne Ablenker* jedoch *mit Vorbereitungsmöglichkeit* bearbeitet wurde, wurden bei gleichem Zeitablauf die Hinweisreize FARBE oder FORM anstatt des Fixationskreuzes dargeboten, um den Vpn die Möglichkeit zu geben, sich auf die nachfolgende Aufgabe vorzubereiten.

In der dritten Bedingung, dem Teil *mit Ablenker* und *mit Vorbereitungsmöglichkeit*, wurden ein farb- und ein formabweichender Reiz gleichzeitig dargeboten. Die Hinweisreize FARBE oder FORM wurden vor jedem Durchgang dargeboten, einerseits, um die Aufgabe zu spezifizieren, die nun nicht mehr eindeutig durch den Zielreiz festgelegt war, andererseits um die Vorbereitung auf die Aufgabe zu ermöglichen. Der Zeitablauf des Durchgangs blieb wiederum gleich. Der Ablauf ist in Abbildung 2.2 schematisch dargestellt.

Die Farb- und die Formaufgabe wurden zusätzlich in geblockter Form dargeboten, also ohne Wechsel der Aufgabe, und zwar in der Bedingung ohne Ablenker (nur *ein* möglicher Zielreiz) wie auch in der Bedingung mit Ablenker (Zielreize und Einzelablenker). Diese Blöcke wurden als Referenz zur Ermittlung der Wechselkosten als Blockeffekte herangezogen. In der Bedingung ohne Ablenker wurde in der geblockten Form nur das Fixationskreuz als Hinweisreiz dargeboten.

Jeder Experimentalblock hatte eine Länge von 96 Durchgängen. Ein Block ohne Aufgabenwechsel wurde für die Farbaufgabe und die Formaufgabe jeweils mit und ohne Ablenker absolviert (= vier Blöcke ohne Wechsel). Es gab jeweils zwei Blöcke mit randomisiertem Wechsel aus dem Abschnitt *ohne Ablenker* und *ohne Vorbereitung*, *ohne Ablenker* und *mit Vorbereitung* und *mit Ablenker* (= sechs Blöcke mit Wechsel). Es ergaben sich insgesamt 10 Experimentalblöcke; diese wurden von den Vpn in einer Reihenfolge bearbeitet,

die mögliche Lern- und Übungeffekte ausglich. Weiterhin wurde darauf geachtet, dass nie zwei gleichartige Blöcke aufeinander folgten.

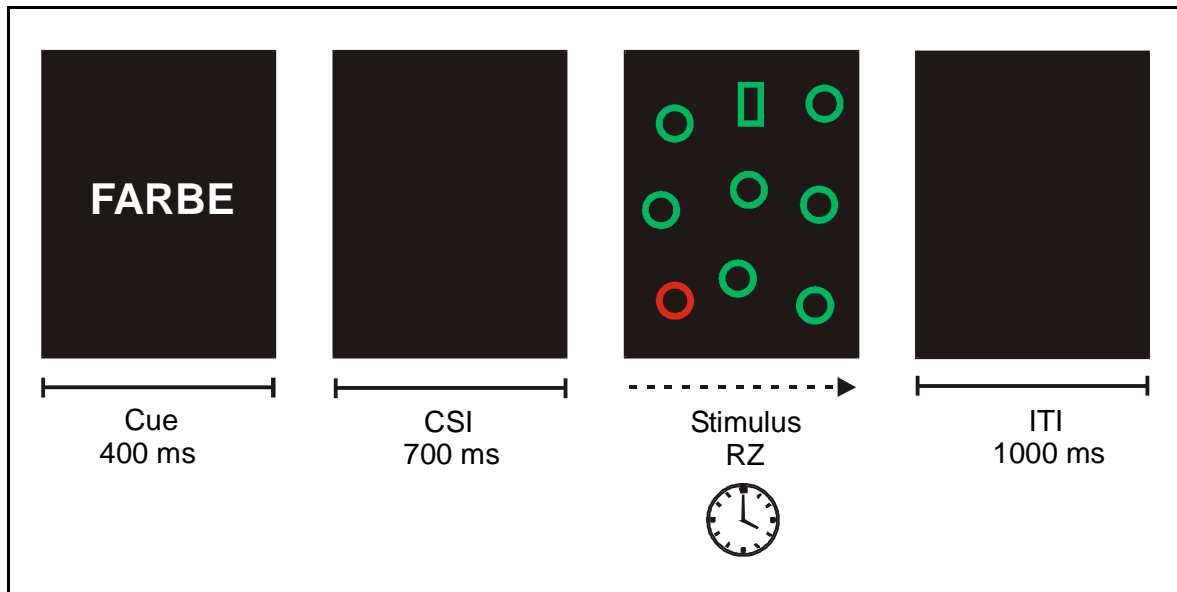


Abbildung 2.2 Ablauf eines Experimental-Durchgangs am Beispiel der Bedingung mit Ablenker: Das Wort *FARBE* war als Hinweisreiz für 400 ms zu sehen, nach einem Intervall von 700 ms mit leerem Monitor erschien der Testreiz und blieb bis zur Tastenreaktion sichtbar. Gleichzeitig wurde die Reaktionszeit gemessen. Der nächste Durchgang begann nach einem Intervall von 1000 ms mit leerem Monitor.

Zu Beginn des Experiments bekam jede Vp eine schriftliche Instruktion und absolvierte einen Übungsblock mit je 32 Durchgängen in jeder Bedingung, die später als Experimentaltblock vorkam.

Zu Beginn eines Blockes wurden jeweils zwei Durchgänge als Aufwärmphase dargeboten, diese Durchgänge gingen nicht in die Auswertung ein. Das gesamte Experiment wurde innerhalb einer Sitzung durchgeführt und dauerte etwa 90 Minuten.

### 2.1.4 Versuchsplan

Als abhängige Variablen wurden in dem Experiment die Reaktionszeit auf die Aufgabe und die Fehlerhäufigkeit gemessen.

Unabhängig variiert wurden:

- Die **Darbietung** der Aufgaben in reiner Form (nur Farb- oder Formaufgabe in einem Block) oder in randomisierter Form (zufälliger Wechsel zwischen der Farb- und Formaufgabe innerhalb eines Blocks).
- Die Art der **Aufgabe**, d.h. das Auffinden des farbabweichenden Reizes und die Entscheidung, ob der Zielreiz rot oder blau ist und das Auffinden des formabweichenden Reizes und die Entscheidung, ob der Zielreiz ein Dreieck oder ein Rechteck ist.
- Die **Vorbereitung**: Die Blöcke ohne Ablenker wurden entweder *ohne* oder *mit* Möglichkeit der Vorbereitung auf die Aufgabe bearbeitet.



- Der **Ablenker**: Die Blöcke mit Vorbereitung enthielten *einen* Zielreiz (ohne Ablenker) oder einen Zielreize *und* einen Einzelablenker (mit Ablenker).
- Die **Konsistenz** der Zielreize (nur in der Ablenkerbedingung). Wurden Zielreiz und Einzelablenker dargeboten, konnte der Einzelablenker *konsistent* oder *inkonsistent* zum Zielreiz sein. Er war *konsistent* wenn die Tastenreaktion, die die zugehörige Entscheidungsaufgabe erforderte, identisch zur Zielreaktion war und *inkonsistent*, wenn eine gegensätzliche Antwortreaktion erforderlich wurde.

Die Vpn durchliefen alle Versuchsbedingungen, so dass sich ein Versuchsplan mit Messwiederholung auf allen Faktoren ergab.

Weiterhin wurden die Daten bezüglich sequentieller Effekte ausgewertet. Hierbei wurde unterschieden, ob innerhalb eines Blockes mit Aufgabenwechsel verschiedene oder gleiche Aufgaben unmittelbar aufeinanderfolgen. Die entsprechende Auswertung wurde für die Antwortreaktionen durchgeführt, mit der Unterscheidung, ob gleiche oder verschiedene Tastenreaktionen unmittelbar aufeinanderfolgen. Bei den Aufgabenwechseln wurde zusätzlich eine Unterteilung der Aufgabenwiederholungen vorgenommen. Es wurde unterschieden, wie häufig sich dieselbe Aufgabe in unmittelbarer Folge wiederholt, wodurch sich Aufgabenabfolgen, sogenannte *Runs* ergaben.

### 2.1.5 Versuchspersonen

Als Vpn nahmen 10 Studenten der Technischen Universität Braunschweig im Alter von 19 bis 38 Jahren an dem Experiment teil. Acht Vpn waren weiblich, zwei männlich. Alle Vpn waren Rechtshänder, mit normalem oder korrigierten Visus. Die Vpn nahmen freiwillig und ohne Bezahlung an dem Versuch teil, die Teilnahme wurde mit Versuchspersonen-Pflichtstunden vergütet.

## 2.2 Ergebnisse

Die Berechnungen in diesem und in den folgenden Experimenten wurden mittels mehrfaktorieller Varianzanalysen (ANOVA) mit Messwiederholung oder mittels t-Test für abhängige bzw. unabhängige Stichproben durchgeführt. Die Mittelwerte der Reaktionszeiten wurden zuvor getrimmt, um den Einfluss von Extremwerten zu reduzieren. Dazu wurden die zwei längsten und kürzesten Reaktionszeiten (der korrekten Reaktionen) je Versuchsperson und Bedingung eliminiert. Die Zeiten für falsche Reaktionen wurden aus der Auswertung ausgeschlossen. Die mittleren Reaktionszeiten zu den Versuchsbedingungen sind zusammen mit den entsprechenden *F*-Tests in den Tabellen A.1 bis A.17 im Anhang aufgeführt.

Die Aufgabenwechsel-Effekte wurden als Blockeffekte und als sequentielle Effekte analysiert. Wenn nachfolgend von Wechselkosten berichtet wird, so handelt es sich bei den Blockeffekten um die Differenz zwischen den mittleren Reaktionszeiten der Bearbeitung der Aufgaben ohne Wechsel (Darbietung = geblockt) zu der mit Wechsel (Darbietung =

randomisiert). Die sequentiellen Effekte beschreiben die Abhängigkeiten innerhalb der randomisiert dargebotenen Blöcke. Bei den sequentiellen Wechselwirkungen wird unterschieden, ob eine Aufgabe im Durchgang  $N$  identisch ist zu der im Durchgang  $N-1$  (*gleich*) oder ob sie unterschiedlich ist (*verschieden*). Wechselkosten ergeben sich in diesem Fall aus der Differenz der Gleich- und Verschieden-Durchgänge. Die Analyse sequentieller Effekte eines Reaktionswechsels wurde in den Blöcken mit und ohne Wechsel der Aufgabe vorgenommen. Es wurde unterschieden, ob die motorische Reaktion (Tastendruck) im Durchgang  $N$  identisch ist zu der im Durchgang  $N-1$  (*gleich*) oder ob sie unterschiedlich ist (*verschieden*). Aus der Differenz der beiden Werte werden wiederum mögliche Reaktionswechselkosten sichtbar.

### 2.2.1 Blockeffekte

Die Reaktionszeit-Mittelwerte und die dazugehörigen  $F$ -Tests sind in Tabelle A.1 im Anhang aufgeführt.

Die drei Bearbeitungsbedingungen *ohne Vorbereitung*, *mit Vorbereitung/ohne Ablenker* und *mit Vorbereitung/mit Ablenker* wurden zur Beurteilung der Wechselkosten zunächst getrennt ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 2.3 dargestellt. Ohne Vorbereitung wurden die Aufgaben in Blöcken ohne Wechsel im Mittel in 446 ms bearbeitet, Blöcke mit Aufgabenwechsel in 540 ms. Daraus ergibt sich ein Unterschied von 94 ms in der Bearbeitungsdauer [ $F(1, 9) = 70.1$ ;  $p < 0.001$ ]. Durch die Vorbereitung auf die Aufgabe reduzierte sich dieser Effekt auf 29 ms (446 vs. 474 ms). Trotz der signifikanten Reduktion der Reaktionszeitdifferenz [Interaktion von Darbietung und Vorbereitung:  $F(1, 9) = 27.3$ ;  $p < 0.001$ ] blieben Kosten für die abwechselnde Bearbeitung der Aufgaben gegenüber der Bearbeitung in reinen Blöcken erhalten [ $F(1, 9) = 7.0$ ;  $p = 0.027$ ]. Mit Ablenker erhöhten sich die Wechselkosten gegenüber der Bearbeitung ohne Ablenker [ $F(1, 9) = 5.3$ ;  $p = 0.047$ ] und zwar auf 52 ms (441 vs. 493 ms).

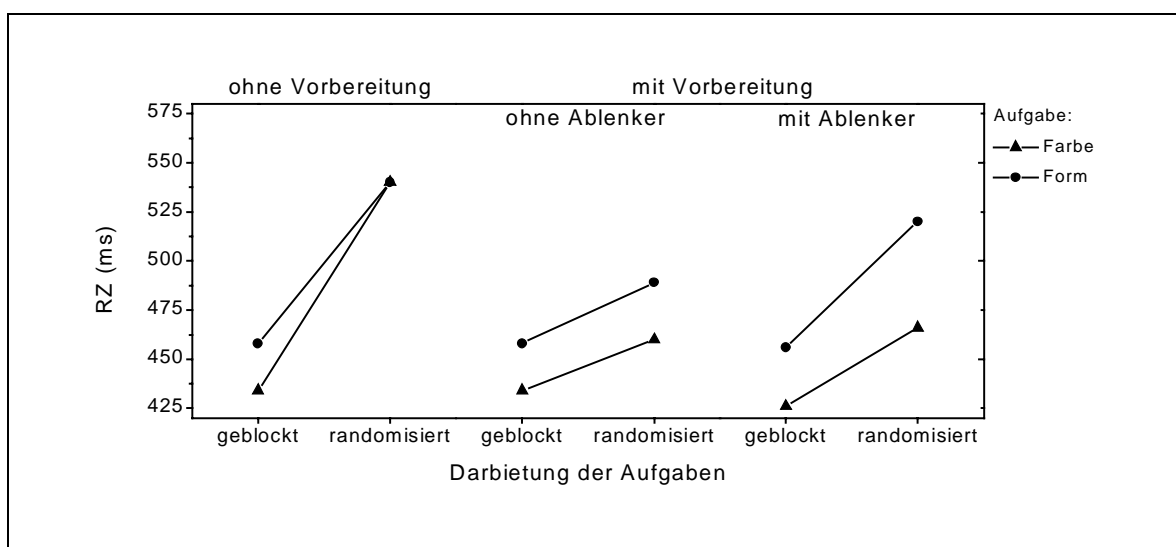


Abbildung 2.3 Mittlere Reaktionszeiten für die Block-Effekte: Dargestellt ist die Interaktion zwischen Darbietung und Aufgabe für die verschiedenen Bearbeitungsbedingungen.

In den Blöcken ohne Aufgabenwechsel wurde die Farbaufgabe grundsätzlich schneller bearbeitet als die Formaufgabe (434 vs. 458 ms ohne Ablenker; 426 vs. 456 ms mit Ablenker). Ebenso verhielt es sich den Aufgabenwechsel-Blöcken mit Vorbereitung (ohne Ablenker: 460 vs. 489 ms; mit Ablenker: 466 vs. 520 ms). Lediglich ohne Vorbereitungsmöglichkeit waren die Werte in den Wechselblöcken für beide Aufgaben identisch (540 ms). Einen Einfluss der Aufgabe auf die Wechselkosten gab es in den Bedingungen ohne Vorbereitung und mit Vorbereitung/mit Ablenker. Ohne Vorbereitung waren die Wechselkosten in der Farbaufgabe um 34 ms höher als bei der Formaufgabe [ $F(1, 9) = 5.7$ ;  $p = 0.041$ ]. Mit Vorbereitung/mit Ablenker war das Verhältnis umgekehrt, die Formaufgabe wies um 24 ms höhere Kosten auf [ $F(1, 9) = 6.1$ ;  $p = 0.035$ ].

Wie wirkte sich ein Einzelablenker auf die Bearbeitung der relevanten Aufgabe aus? Dazu erfolgte ein Vergleich der Bearbeitungsbedingungen *mit Vorbereitung/ohne Ablenker* und *mit Vorbereitung/mit Ablenker*. Neben den bereits erwähnten höheren Wechselkosten für die Formaufgabe fiel die Ablenker-Bedingung durch eine grundsätzliche Verzögerung der Antwortreaktionen im Vergleich zur Bedingung ohne Ablenker auf, und zwar um 15 ms [ $F(1, 9) = 11.7$ ;  $p = 0.008$ ]. Wie aus Abbildung 2.4 zu erkennen ist, beschränkte sich die Wirkung des Ablenkens auf die Wechselblöcke (randomisiert) mit einer Verlangsamung von 26 ms gegenüber 3 ms bei Blöcken ohne Wechsel [ $F(1, 9) = 5.3$ ;  $p = 0.047$ ].

Stärker verzögert waren die Reaktionen auf die Formaufgabe, wenn gleichzeitig ein farbabweichender Reiz zu sehen war - mit einem Unterschied von 22 ms. Die Farbaufgabe hingegen wurde durch einen zusätzlichen formabweichenden Reiz kaum beeinflusst (7 ms) [Interaktion Aufgabe und Ablenker:  $F(1, 9) = 7.8$ ;  $p = 0.021$ ]. Neben der grundsätzlichen Wirkung durch die Anwesenheit des Ablenkens war keine Einflussnahme durch seine Identität zu erkennen. Konsistente wie auch inkonsistente Reizpaarungen von Zielreiz und Einzelablenker wurden gleich schnell bearbeitet [ $F(1, 9) = 0.01$ ;  $p = 0.916$ ; beide 467 ms]; es traten zudem keine Interaktionen der Konsistenz mit anderen Faktoren auf.

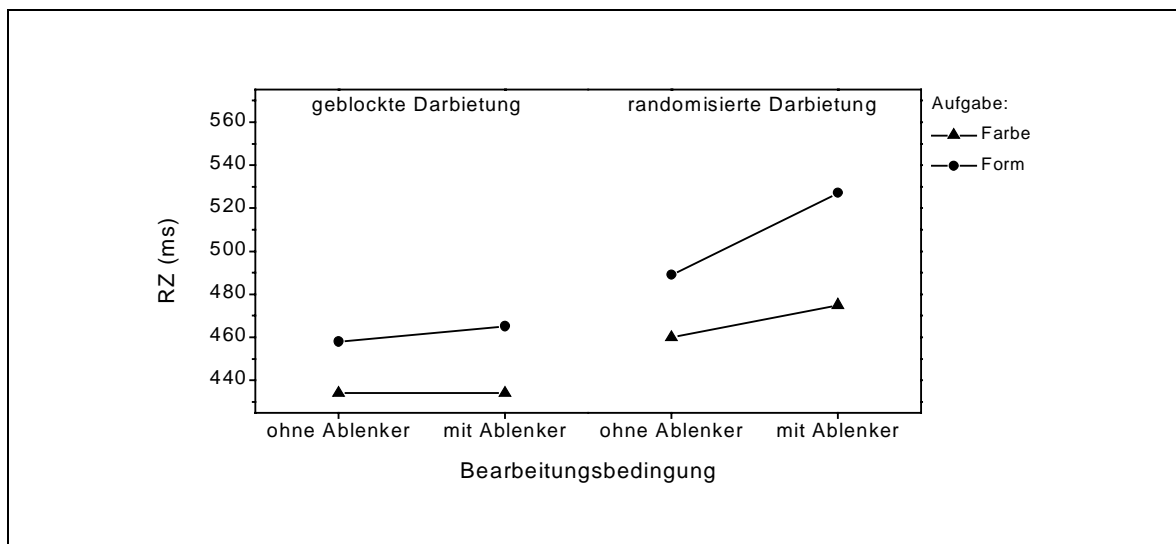


Abbildung 2.4 Dargestellt ist der Einfluss von Ablenkern auf die Aufgaben, links für die geblockt und rechts für die randomisiert Darbietung der Aufgaben.

### 2.2.2 Sequentielle Effekte

Zu den sequentiellen Wechselwirkungen gehört in dieser Auswertung zum einen der Wechsel der Aufgabe innerhalb eines Blockes mit Aufgabenwechsel. Zum anderen wurde der Wechsel der Antwortreaktion in den Blöcken mit und ohne Wechsel analysiert. Wie bei den Blockeffekten erfolgte zunächst die getrennte Auswertung der Bearbeitungsbedingungen *ohne Vorbereitung*, *mit Vorbereitung/ohne Ablenker* und *mit Vorbereitung/mit Ablenker*. Die Ergebnisse sind in den Tabellen A.2 und A.3 im Anhang detailliert aufgeführt.

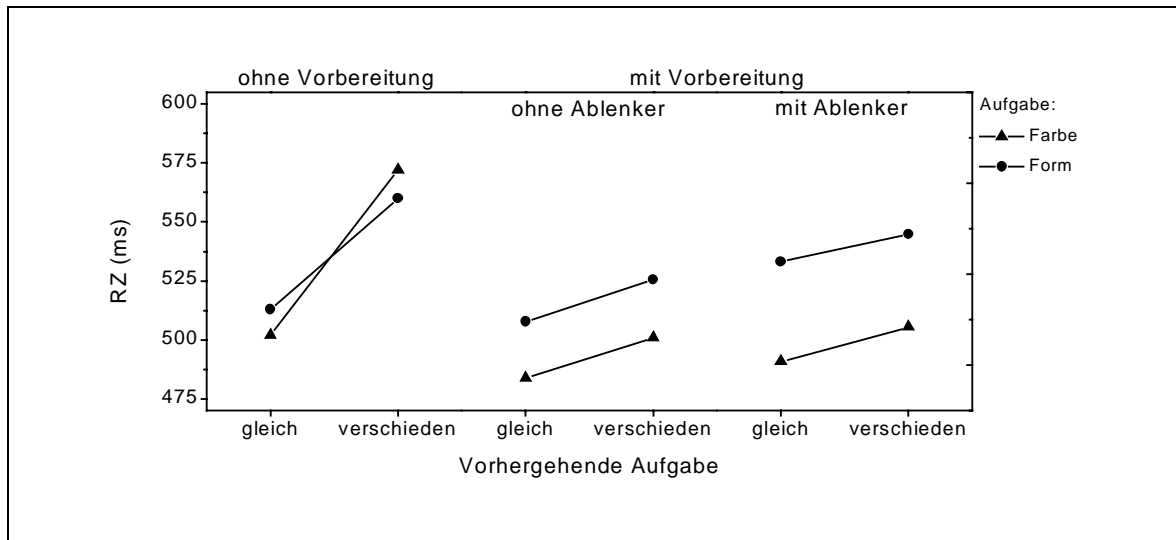


Abbildung 2.5 Mittlere Reaktionszeiten für die sequentiellen Effekte des Aufgabenwechsels: Dargestellt ist die Interaktion zwischen vorhergehender Aufgabe und Aufgabe für die verschiedenen Bearbeitungsbedingungen.

Beim Aufgabenwechsel ergaben sich ohne Vorbereitungsmöglichkeit sequentielle Wechselkosten in Höhe von 59 ms [ $F(1, 9) = 22.9$ ;  $p = 0.001$ ]. War die Aufgabe *gleich* in Bezug auf die vorhergehende Aufgabe, reagierten die Vpn im Mittel in 507 ms, war sie *verschieden*, benötigten sie 566 ms. Durch Vorbereitung ließen sich die Wechselkosten signifikant reduzieren [Interaktion von Vorbereitung und vorhergehender Aufgabe:  $F(1, 9) = 9.9$ ;  $p = 0.012$ ] und zwar um 36 ms. Die residualen Wechselkosten von 23 ms (458 vs. 481 ms) blieben dabei signifikant [ $F(1, 9) = 6.2$ ;  $p = 0.034$ ]. In der Ablenker-Bedingung änderten sich die Wechselkosten mit 17 ms (480 vs. 497 ms) nicht im Vergleich zur Bedingung ohne Ablenker [ $F(1, 9) = 0.5$ ;  $p = 0.492$ ]. In keiner Bearbeitungsbedingung unterschieden sich die Aufgaben hinsichtlich der sequentiellen Wechselwirkungen, lediglich ohne Vorbereitung fand sich ein Trend zu höheren Wechselkosten bei der Farbaufgabe [ $F(1, 9) = 3.7$ ;  $p = 0.086$ ; Farbe: 70 ms, Form: 47 ms]. Wie schon in den Blockeffekten zeigte sich kein Einfluss der Konsistenz auf die Wechselkosten [Interaktion vorhergehende Aufgabe und Konsistenz:  $F(1, 9) = 2.8$ ;  $p = 0.127$ ].

Auswirkungen von Reaktionswechseln machten sich nur in den Wechselblöcken bemerkbar. In den Blöcken ohne Aufgabenwechsel lieferten die Vpn nahezu identische Reaktionszeiten bei Wiederholung und Wechsel der motorischen Antwortreaktion (442 ms ohne Ablenker, 444 ms mit Ablenker). Bei der Auswertung der Reaktionswechsel in den Blö-

cken mit Aufgabenwechsel wurde zusätzlich der sequentielle Wechsel der Entscheidungsaufgabe mit berücksichtigt. Das Ergebnis der Auswertung ist in Abbildung 2.6 zu sehen. Auffallend ist der Trend zu schnelleren Antworten bei einem Wechsel der Reaktion. Ein Anstieg der Reaktionszeit mit dem Wechsel (24 ms) war lediglich ohne Vorbereitung gegeben, wenn gleichzeitig kein Wechsel der Aufgabe zu vollziehen war. So zeigte sich auch eine signifikante Interaktion von Aufgabenwechsel und Reaktionswechsel mit [ $F(1, 9) = 15.3$ ;  $p = 0.004$ ]. Die Reduktion der Antwortzeit beim Wechsel betrug mit Vorbereitung insgesamt 19 ms [ $F(1, 9) = 9.4$ ;  $p = 0.013$ ], der gleiche Unterschied zeigte sich in der Ablenker-Bedingung [ $F(1, 9) = 6.1$ ;  $p = 0.036$ ].

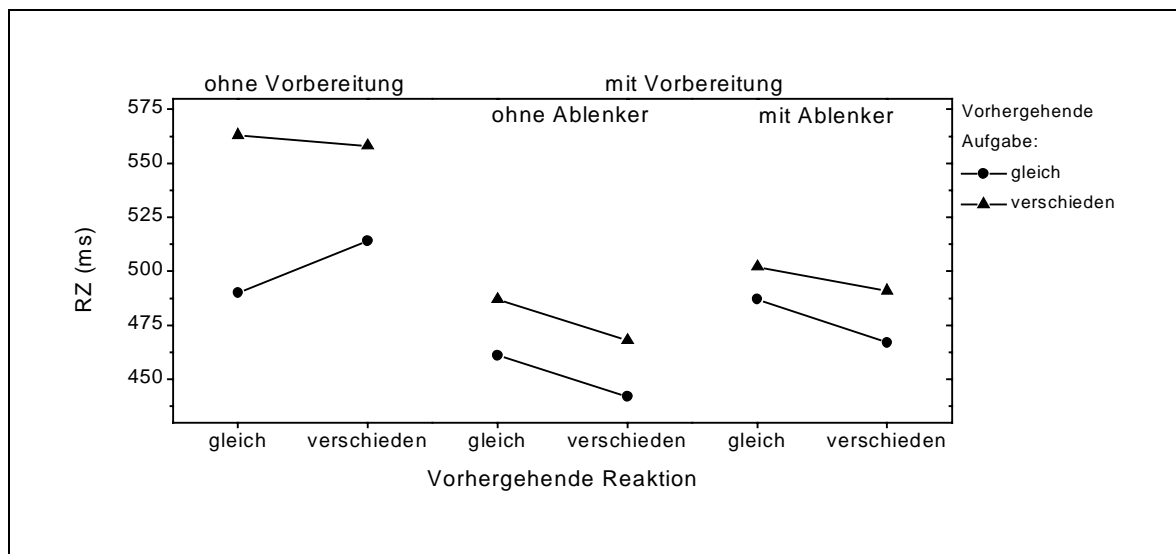


Abbildung 2.6 Mittlere Reaktionszeiten für die sequentiellen Effekte des Reaktionswechsels für die Bearbeitung ohne Vorbereitung (links), mit Vorbereitung (Mitte) und mit Vorbereitung/mit Ablenker (rechts). Der Reaktionswechsel ist hier in Abhängigkeit vom sequentiellen Wechsel der Aufgabe (gleich, verschieden) dargestellt.

### 2.2.3 Runs

Bei den sequentiellen Wechseleffekten wurde unterschieden, ob sich innerhalb eines Experimentalblocks mit Aufgabenwechsel die Aufgabe änderte in Bezug auf die vorangegangene Aufgabe, oder ob sie gleich blieb. Den Fall der gleichen bzw. wiederholten Aufgabe kann man nun noch feiner auflösen, indem man berücksichtigt, wie oft sich die Aufgabe nacheinander wiederholt. Daraus ergeben sich Aufgaben-Runs mit aufeinanderfolgenden Run-Positionen. Position Eins stellt einen Aufgabenwechsel dar, in den nachfolgenden Positionen wiederholt sich diese Aufgabe. Der Faktor Run-Position wurde im Experiment nicht unabhängig variiert. Es erfolgte nur eine posthoc Auswertung der Runs, die sich zufällig durch die randomisierte Darbietung der Aufgaben ergaben. Bei einer getrennten Auswertung für die unterschiedlichen Bearbeitungsbedingungen fand sich eine ausreichende Menge an Daten nur bis zur Position Drei. Die Anzahl der Daten an Position Drei lag zwischen 10 und 28 Messwerten je Vpn und Bearbeitungsbedingung.

Tabelle 2.3 Mittlere Reaktionszeiten für die Run-Positionen in den verschiedenen Bearbeitungsbedingungen.

Position im Run	Reaktionszeit (ms)		
	ohne Vorbereitung	mit Vorbereitung	mit Vorbereitung / mit Ablenker
Position 1	569	487	513
Position 2	515	455	494
Position 3	499	455	487

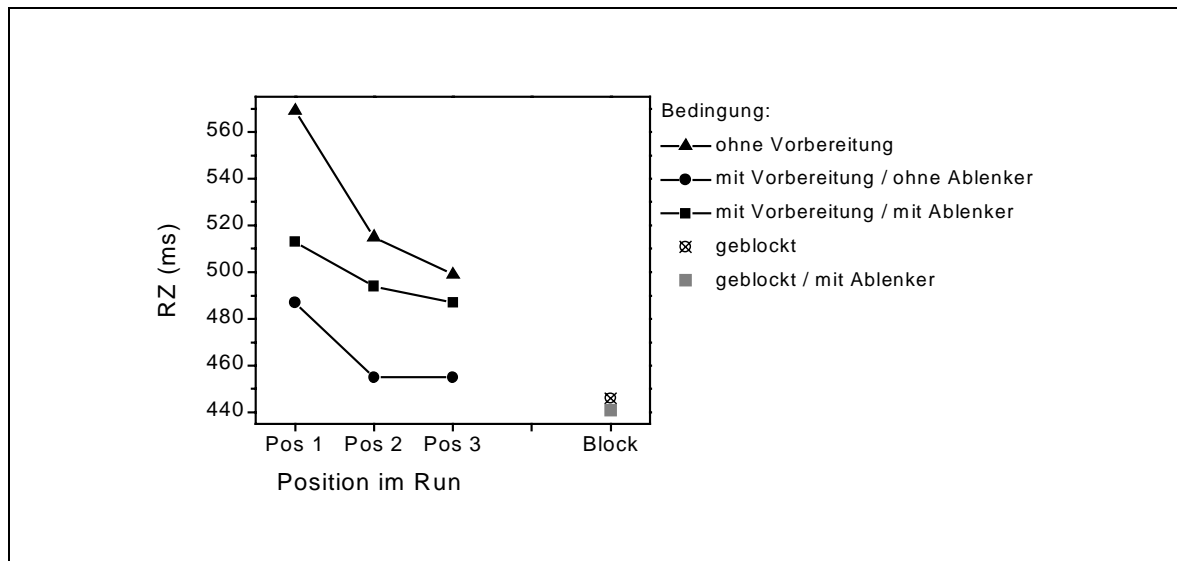


Abbildung 2.7 Mittlere Reaktionszeiten für die Positionen im Aufgaben-Run in den verschiedenen Bearbeitungsbedingungen. Rechts im Diagramm ist die Reaktionszeit für die Darbietung ohne Wechsel (geblockt) dargestellt.

Die Reaktionszeiten unterschieden sich an den Run-Positionen [ $F(2, 18) = 26.9$ ;  $p < 0.001$ ], ausserdem gab es eine Interaktion zwischen Run-Position und Bearbeitungsbedingung [ $F(4, 36) = 4.6$ ;  $p < 0.01$ ]. Durch einen Vergleich der Run-Positionen zeigte sich, dass in allen Bearbeitungsbedingungen lediglich die Reduktion von Position Eins zu Position Zwei Signifikanz erreichte (ohne Vorbereitung:  $t(9) = 4.9$ ;  $p = 0.0008$ ; mit Vorbereitung/ohne Ablenker:  $t(9) = 3.6$ ;  $p = 0.006$ ; mit Vorbereitung/mit Ablenker:  $t(9) = 4.5$ ;  $p = 0.0015$ ). Von Position Zwei zu Position Drei erfolgte keine weitere Reduktion der Reaktionszeiten (ohne Vorbereitung:  $t(9) = 1.8$ ;  $p = 0.106$ ; mit Vorbereitung:  $t(9) = 0.03$ ;  $p = 0.976$ ; mit Ablenker:  $t(9) = 0.9$ ;  $p = 0.409$ ). In Tabelle 2.3 sind die mittleren Reaktionszeiten für die Bedingungen aufgeführt, in Abbildung 2.7 graphisch dargestellt.

#### 2.2.4 Fehler

Die Fehlerhäufigkeit in Experiment I betrug im Mittel 3,1 Prozent. Der Trend in der Fehlerhäufigkeit folgt etwa dem der Reaktionszeiten, es liegt kein Hinweis auf einen speed-accuracy trade-off vor. Die Fehlerhäufigkeiten wurden daher nicht weiter ausgewertet.

## 2.3 Diskussion

Die zentrale Frage, ob der abwechselnden visuellen Suche und Klassifizierung nach verschiedenen Kriterien ein Aufgabenwechsel zugrunde liegt, konnte mit diesem Experiment eindeutig bejaht werden. Kosten in Form verlängerter Reaktionszeiten in den Wechselbedingungen fanden sich als Blockeffekte wie auch als sequentielle Effekte. Auch wenn die Aufgabe eindeutig durch den Zielreiz festgelegt wurde, gelang den Vpn keine Bearbeitung der Aufgaben ohne Wechselkosten. Damit steht das Ergebnis im Einklang mit denen von Allport et al. (1994), Rogers und Monsell (1995), die unter ähnlichen Bedingungen ebenfalls Wechselkosten fanden. Es widerspricht jedoch denen von Jersild (1927) und Spector und Biederman (1976), die bei eindeutiger Zuordnung von Reiz und Aufgabe keine verlängerten Bearbeitungszeiten nachweisen konnten. Bei eindeutigem Zielreiz und ohne Vorbereitungsmöglichkeit durch einen aufgabenspezifischen Hinweisreiz waren im vorliegenden Experiment die höchsten Wechselkosten zu finden. Das Fixationskreuz als Hinweisreiz gab nur zeitliche Informationen bezüglich des Erscheinens des Testreizes, eine Vorbereitung auf die Aufgabe war hier nicht möglich. Wurde anstatt des Fixationskreuzes ein Wort-Cue dargeboten, war eine aufgabenspezifische Vorbereitung möglich und die Wechselkosten konnten um 60 Prozent (sequentiell) bis über 70 Prozent (Blockeffekt) reduziert werden. Es blieben aber trotz Vorbereitungsmöglichkeit geringe residuale Wechselkosten bestehen. Damit zeichnet sich bei den visuellen Suchaufgaben grundsätzlich das gleiche Bild bezüglich der Wechselkosten, wie bei den kognitiven Entscheidungsaufgaben. Zu beachten ist noch die unterschiedliche Wirkung des Hinweisreizes auf die Aufgaben: Während ohne Hinweisreiz auf beide Aufgaben gleich schnell reagiert wurde, waren mit Wort-Cue schnellere Reaktionen bei der Farbentscheidung als bei der Formentscheidung möglich. Eine Top-Down-Einstellung auf die Farbaufgabe scheint daher effektiver zu sein als auf die Formaufgabe. Die Wechselkosten blieben davon jedoch unberührt, sie waren gleich für beide Aufgaben.

Bei geblockter Darbietung der Aufgaben ohne Ablenker wurde stets nur ein Fixationskreuz vor dem Testreiz dargeboten, aber niemals ein Wort-Cue. Das Fixationskreuz war zur Bearbeitung des selben Aufgabentyps im Block ausreichend, da kein Wechsel angekündigt werden musste. Die Bearbeitungszeit in der geblockten Bedingung wurde zur Ermittlung der Wechselkosten jedoch auch mit der Wechselbedingung mit Wort-Cue verglichen. Der dabei auftretende Reaktionszeitunterschied könnte auch durch die Darbietung des Wort-Cues entstanden sein und nicht durch residuale Wechselkosten. Um diese Ursache auszuschließen, wurde ein weiteres Experiment durchgeführt, mit dem die Bearbeitungszeit der geblockten Aufgabendarbietung mit und ohne Hinweisreiz (Wort-Cue vs. Fixationskreuz) verglichen wurde. In diesem Experiment wurden acht studentischen Vpn acht Experimentalblöcke mit je 48 Durchgängen für die Bearbeitung der Aufgaben ohne Wechsel vorgegeben. Die Farbaufgabe wurde in zwei Blöcken mit einem Fixationskreuz und in zwei Blöcken mit dem Wort-Cue bearbeitet, ebenso die Formaufgabe. Die Bearbeitungsreihenfolge der Blöcke wurde so gestaltet, dass Lerneffekte ausgeglichen wurden und nie zwei

identische Bedingungen unmittelbar aufeinander folgten. Die Reize und der Versuchsaufbau und -ablauf waren ansonsten identisch zu Experiment I. Es zeigte sich jedoch kein Unterschied bei der Bearbeitungsdauer der Aufgaben mit Wort-Cue (423 ms) und Fixationskreuz (426 ms). Zur Ermittlung der Wechselkosten als Blockeffekte wurde daher in den Experimenten I, II und IV nur das Fixationskreuz bei der Bearbeitung der Aufgaben ohne Wechsel (und ohne Interferenz) dargeboten. Diese Bedingung wurde als Referenz herangezogen zu der abwechselnden Bearbeitung beider Aufgaben mit Fixationskreuz und mit Wort-Cue.

Bei der Betrachtung der Reaktionswechsel überrascht es zunächst, dass die Vpn die Antwort bei einem Reaktionswechsel schneller geben konnten als bei wiederholten Reaktionen, wenn sie sich durch einen Hinweisreiz auf die Aufgabe vorbereiten konnten. Ohne Vorbereitungsmöglichkeit stieg die Antwortzeit beim Reaktionswechsel bei einer Aufgabenwiederholung an und reduzierte sich nur geringfügig bei einem Aufgabenwechsel. Wie lässt sich dieses Ergebnis erklären? Zunächst die Bedingung ohne Vorbereitung: Die Einstellung auf das Schema des vorangegangenen Trials bleibt komplett erhalten, da keine Informationen über einen Aufgabenwechsel vorliegen. Wiederholen sich die Aufgabe und die Reaktion, kann die Vp von der Voreinstellung profitieren und die Aufgabe schnell bearbeiten. Wechselt die Reaktion bei identischer Aufgabe, so wird eine Umstellung der motorischen Antwort nötig. Die voraktivierte Antwort wird gehemmt und die Hemmung der komplementären Antwort muss überwunden werden, um diese gleichzeitig zu aktivieren – ein zeitkonsumierender Prozess, aus dem längere Antwortzeiten resultieren. Im Falle eines Aufgabenwechsels wird das bestehende Aufgabenschema gehemmt, damit erfolgt gleichzeitig eine Hemmung der voraktivierten Antwortreaktion. Gleiche und verschiedene Antwortreaktionen wurden jetzt etwa gleich schnell ausgeführt.

Ein anderes Ergebnis ergab sich bei der Aufgabenbearbeitung mit vorgeschaltetem Hinweisreiz. Der angekündigte Wechsel der Aufgabe veranlasst die Vp dazu, vorbereitend das alte Aufgabenschema zu hemmen, wodurch gleichzeitig die vorangegangene Reaktion gehemmt wird. Geänderte Reaktionen können damit schneller erfolgen als gleich gebliebene. Problematisch ist die Erklärung des gleichen Ergebnisses ohne Aufgabenwechsel, also bei identischer Aufgabe. Dieses ist nur so zu erklären, dass die Vpn die motorische Antwort in der Vorbereitungsphase grundsätzlich hemmen, unabhängig vom Aufgabenwechsel. Insgesamt zeigt sich in den Interaktionen von Aufgaben- und Reaktionswechsel eine enge Verbindung des Aufgabenschemas zu dem Subsystem, das für die Generierung der Antwort zuständig ist (siehe SAS-Modell von Norman und Shallice, Abbildung 1.2). Eine Hemmung des Aufgabenschemas zieht demnach immer eine Hemmung der Antwort nach sich. Umgekehrt scheint aber auch eine isolierte Antworthemmung ohne Einfluss auf das Aufgabenschema möglich. Allerdings kann diese Interpretation nur vorläufig sein, da in diesem Experiment der Wechsel der Antwortreaktion mit dem Wechsel des aufgabenrelevanten Reizmerkmals konfundiert war (z.B. Wechsel von *rot* auf *blau*). Eine endgültige



Deutung kann daher erst nach dem Experiment zur Reizentdeckung, in dem der Merkmals- und Reaktionswechsel getrennt betrachtet werden, erfolgen.

In der Wirkung der Interferenz durch einen ablenkenden Reiz zeigten sich zum Teil Unterschiede zu den klassischen Aufgaben mit Reizziffern und –buchstaben. So konnte der Einzelablenker bereits auf der Ebene der Wahrnehmung gehemmt werden und übte keinen Einfluss auf die Aufgabenschemata aus. Die Wechselkosten waren in der Interferenzbedingung gegenüber der Bedingung Wort-Cue nur als Blockeffekt erhöht, nicht jedoch als sequentieller Effekt. Auch die höheren Wechselkosten für die Formaufgabe als Blockeffekt verschwanden bei der Betrachtung der sequentiellen Wechselwirkungen - hier waren die Kosten gleich, egal ob ein Wechsel auf die Farb- oder die Formaufgabe vollzogen werden musste. Dafür gab es eine Verlangsamung der Antworten auf die Form- gegenüber der Farbaufgabe. Die Interferenz übte also eine Wirkung auf die Blockeffekte des Wechsels aus, nicht jedoch auf die sequentiellen. Vermutlich war ein höherer Aufwand erforderlich, den salienten Farbreiz im visuellen Feld zu hemmen, wenn nach dem formabweichenden Zielreiz zu suchen war. Dieser Aufwand war konstant über den gesamten Block und hatte keinen Einfluss darauf, ob gerade ein Wechsel zur Formaufgabe zu vollziehen war oder ob es sich um eine Aufgabenwiederholung handelte. Das Fehlen der Konsistenzeffekte in diesem Experiment ist ein weiterer Hinweis auf eine frühe Hemmung des Einzelablenkers. Die räumliche Aufmerksamkeit wurde nicht auf den Ablenker verlagert und seine Identität wurde folglich nicht verarbeitet. Nur so ist zu erklären, dass es nicht zu einer Verlangsamung der Antworten durch inkonsistente Reize kam. Selbst der salientere Farbreiz konnte die Aufmerksamkeit nicht ablenken, die Vpn konnten durch Top-Down-Kontrolle die Verarbeitung der Einzelablenker vollständig unterdrücken.

Bei der geblockten Darbietung nur einer Aufgabe verzögerte der Einzelablenker die Antwortreaktionen nicht, die Aufgaben wurden genauso schnell bearbeitet wie ohne Ablenker. Es gibt zwei mögliche Erklärungen für den fehlenden Interferenzeffekt bei geblockter Aufgabendarbietung: Zum einen wäre es möglich, dass bereits auf der Wahrnehmungsebene eine sehr effiziente Hemmung des Einzelablenkers erfolgte, da konstant nur eine Dimension beachtet und die andere dauerhaft gehemmt wurde. Im Gegensatz dazu ist bei abwechselnder Beachtung der Dimensionen eine ständige Änderung von Aktivierungs- und Hemmungsprozessen nötig. Andererseits wäre es denkbar, dass der Vorteil der geblockten Bearbeitung einer Aufgabe auf der Ebene der Handlungsschemata für die Entscheidungsaufgabe liegt. Wenn beispielsweise während der Bearbeitung der Formaufgabe kein Handlungsschema für die Farbaufgabe aufgebaut und aktiviert wurde, ergab sich auch keine Notwendigkeit zur Hemmung des Farbreizes. Diese Frage wird sich erst durch das Entdeckungsexperiment klären lassen, bei dem die Vpn nur auf die An- oder Abwesenheit des Reizes zu reagieren haben, ohne Ausführung der Entscheidungsaufgabe. Nach der Durchführung von Experiment IV wird daher auf diese Fragestellung zurückgegriffen.

Neben den Interferenzeffekten, die innerhalb eines Trials auftreten können, sollte auch der Frage nach der Interferenz zwischen Trials nachgegangen werden, insbesondere der Task-

Set-Inertia-Hypothese von Allport et al. (1994). Der von den Autoren vermutete kontinuierliche Abbau proaktiver Interferenz durch die aufeinander folgende Bearbeitung mehrerer gleicher Aufgaben nach einem Aufgabenwechsel konnte hier nicht bestätigt werden. Die Reaktionszeiten reduzierten sich nur durch die erste Aufgabenwiederholung im Vergleich zum Aufgabenwechsel. Eine weitere Reduktion durch die zweite Aufgabenwiederholung trat nicht auf. Dieses Ergebnis spricht eher für die Rekonfigurierungs-Hypothese von Rogers und Monsell (1995), also der einmaligen Umstellung auf ein verändertes Aufgabenschema. Die Interpretation der Ergebnisse wird jedoch durch folgende Umstände erschwert: Es handelte sich um die Posthoc-Analyse der Aufgabenabfolgen, die sich durch die Darbietung mit zufälligem Aufgabenwechsel ergaben. Die Aufgaben-Runs wurden also nicht systematisch vorgegeben oder variiert. Das Hauptproblem resultiert allerdings aus der Datenmenge. Die Daten erlaubten nur eine Auswertung bis zur Run-Position Drei, also der zweiten Aufgabenwiederholung. Und selbst diese Daten für Position Drei waren teilweise nicht in ausreichender Menge vorhanden. Pro Vp lagen in dieser Bedingung nur zwischen 10 und 28 Messwerte (korrekte Reaktionen) vor. Für eine Auswertung der Position Vier ergaben sich nicht genügend Daten. Neben einem Ergebnis für die zweite Aufgabenwiederholung mit schwacher Datenbasis lässt sich über den weiteren Verlauf der Reaktionszeiten keine Aussage machen. Rogers und Monsell hatten durch die Vorgabe von Vierer-Runs auch die dritte Aufgabenwiederholung untersucht und dort keine weitere Reduktion gefunden. Im Unterschied zum vorliegenden Experiment, bei dem den Vpn das Run-Konzept unbekannt war, wussten die Vpn bei Rogers und Monsell, dass das Experiment nur aus Vierer-Runs aufgebaut war und waren informiert, an welcher Position im Run sie sich gerade befanden.

Insgesamt zeigten sich beim Aufgabenwechsel zwischen verschiedenen Suchaufgaben ähnliche Wechselkosteneffekte wie bei Aufgaben mit kognitiven Entscheidungsaufgaben mit Ziffern oder Buchstaben. Es ergaben sich hohe Wechselkosten ohne Vorbereitung auf eine Aufgabe, die durch einen Hinweisreiz bis auf geringe residuale Kosten reduziert wurden. Ein Unterschied bestand in der Wirkung der Interferenz durch einen ablenkenden Reiz, der nicht spezifisch durch seine Identität auf die Antwortreaktion wirkte, sondern nur durch seine Anwesenheit die Reaktionen allgemein verlangsamte. Auf die Interferenzwirkung auf nachfolgende Trials kann aufgrund der schwachen Datenbasis noch keine konkrete Aussage gemacht werden, die Wirkung von proaktiver Interferenz liess sich bisher allerdings nicht bestätigen. Mit den nachfolgenden Experimenten sollte zunächst die Frage nach der proaktiven Interferenz, also der Interferenz zwischen Trials und der Interferenz innerhalb eines Trials durch einen Einzelablenker näher untersucht werden. Da bisher keine Konsistenzeffekte wie in den Ziffern- und Buchstabenaufgaben aufgetreten sind, liess sich die Frage nach der Beteiligung der Interferenz an den Aufgaben-Wechselkosten nicht abschliessend beantworten. Die Distanz zwischen Zielreiz und Einzelablenker wurde daher in Experiment III so weit reduziert, dass beide in einem Zielobjekt mit zwei abweichenden Eigenschaften vereinigt wurden. Im letzten Experiment soll schliesslich die reine

Reizentdeckung ohne Entscheidungsaufgabe Klarheit bringen über die offenen Fragen des Merkmals- und Dimensionswechsels. Doch zunächst wurden in Experiment II weitere Daten zu der Bearbeitung der Aufgaben in Runs erhoben.

### 3. Experiment II

Ziel des zweiten Experiments war es, die Wirkung von proaktiver Interferenz bei aufeinanderfolgenden Aufgaben eingehender zu untersuchen als im ersten Experiment. Neben einer grösseren Menge an Daten für die Runposition Drei wurden die Runs um die Position Vier erweitert. Damit erfolgte eine Annäherung an das experimentelle Design von Rogers und Monsell (1995), die ebenfalls Runs bis zur Position Vier untersuchten. Um eine weitere Angleichung an dieses Experiment zu erreichen, bearbeitete die Hälfte der Vpn die Aufgaben mit festen Runs der Länge Vier. Die Vpn wurden über die Run-Aufteilung informiert und hatten die Möglichkeit, sich auf die viermalige Wiederholung der Aufgabe einzustellen. Die zweite Hälfte der Vpn bearbeitete die Aufgaben ebenfalls in Runs, allerdings mit Ungewissheit: Der Ablauf des Experiments innerhalb der Blöcke mit Aufgabenwechsel war für die Vpn nicht vorhersagbar.

Unter der Rekonfigurationshypothese wurde erwartet, dass eine Reduktion der Reaktionszeiten unter allen Wechselbedingungen nur von Position Eins zu Position Zwei erfolgt, also mit der ersten Aufgabenwiederholung. Danach findet keine Reduktion mehr statt. Gemäss der Interferenzhypothese sollte die proaktive Interferenz in der Ablenkerbedingung einen kontinuierlichen Abbau der Reaktionszeit verursachen (vgl. Abbildung 1.8).

Es sollten sich ebenfalls Unterschiede in den Wechselkosten ergeben, wenn die Aufgaben ohne Vorbereitung bearbeitet werden. Bei den vorhersagbaren Runs war den Vpn der Ablauf und damit der Zeitpunkt des Aufgabenwechsels bekannt und ermöglichte dadurch eine Vorbereitung auf den Wechsel. Die Wechselkosten sollten daher in dieser Bedingung geringer ausfallen als im ersten Experimenten und in dem Teil mit nicht vorhersagbaren Runs in diesem Experiment.

#### 3.1 Methode

##### 3.1.1 Änderungen gegenüber Experiment I

Das Experiment war identisch zu Experiment I, mit folgenden Ausnahmen:

In den Experimentalblöcken mit Aufgabenwechsel erfolgte die Darbietung der Aufgaben nicht in zufälliger Folge (randomisiert), sondern die Aufgaben wurden in Form von Runs vorgegeben. Die Hälfte der Vpn durchliefen die Bedingung ‚*vorhersagbare Runs*‘, die andere Hälfte die Bedingung ‚*nicht-vorhersagbare Runs*‘:

- **Vorhersagbare Runs:** Dieselbe Aufgabe folgte viermal nacheinander, danach wurde die Alternativaufgabe dargeboten, ebenfalls viermal in Folge, usw. Es gab dabei vier

verschiedene feste Abfolgen von Durchgängen für jeden Experimentalblock, die den Vpn zufällig zugeordnet wurden. Die Versuchspersonen wurden über die Aufteilung der Wechselblöcke in Vierer-Runs informiert. (Im folgenden wird dieses Experiment auch **II-a** genannt)

- **Nicht-vorhersagbare Runs:** Die Aufgaben wurden in Form von Einer, Zweier und Vierer-Runs vorgegeben. Die Runs wurden innerhalb eines Blocks so gemischt, dass die Struktur der Runs-Aufteilung für die Vpn nicht zu erkennen war. Die Vpn wurden auch *nicht* über die Aufteilung der Wechselblöcke in Runs informiert. (Im folgenden Experiment **II-b**)

Ein Beispiel für die Blockaufteilung ist in Abbildung 3.1 gegeben.

Das Versuchsdesign wurde um den Faktor *Run-Position* ergänzt, dabei wurde unterschieden, ob die Aufgabe an erster, zweiter, dritter oder vierter Stelle in einer Aufgabenfolge bearbeitet wurde.

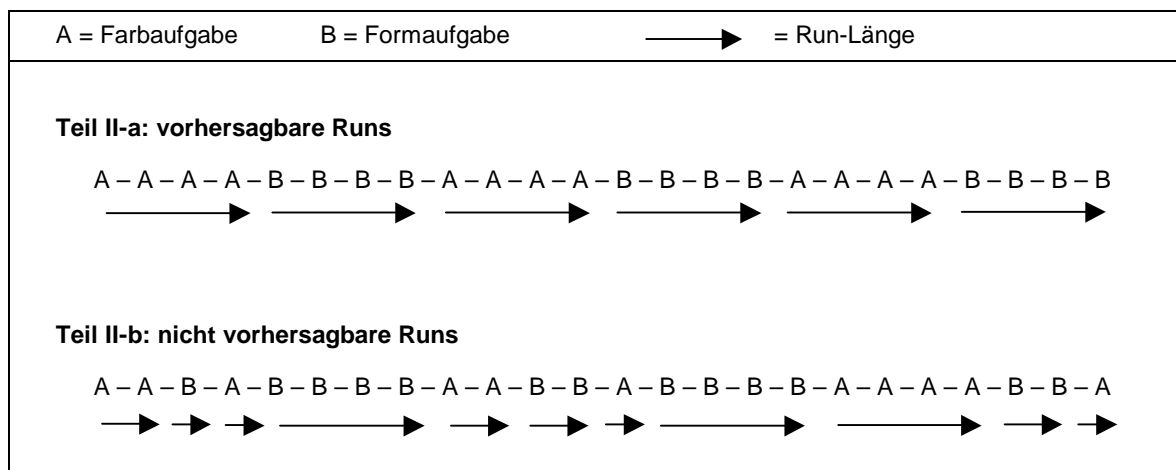


Abbildung 3.1 Beispiel für die Aufteilung der Aufgabenwechsel-Blöcke in Runs

### 3.1.2 Versuchspersonen

An Experiment II nahmen 20 Studenten der Technischen Universität Braunschweig als Versuchspersonen teil. Vierzehn dieser Vpn waren weiblich, sechs männlich, mit einem Lebensalter von 19 bis 38 Jahren. Je zehn Vpn wurden zufällig den Bedingungen ‚*vorhersagbare Runs*‘ und ‚*nicht vorhersagbare Runs*‘ zugeordnet. Alle Vpn waren Rechtshänder, mit normalem oder korrigierten Visus. Keine der Vpn hatte zuvor an Experiment I teilgenommen.

## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Runs

Die Runs-Auswertung erfolgte mit den Faktoren *Run-Position*, *Bearbeitungsbedingung* (Messwiederholung) und *Vorhersagbarkeit* (zwischen Vpn). Neben den Haupteffekten für

die Bearbeitungsbedingung [ $F(2, 36) = 60.1$  ;  $p < 0.001$ ] und die Run-Position [ $F(3, 54) = 55.1$  ;  $p < 0.001$ ] wurde ein signifikanter Effekt in der Interaktion zwischen Run-Position und Bearbeitungsbedingung deutlich [ $F(6, 108) = 6.9$  ;  $p < 0.001$ ].

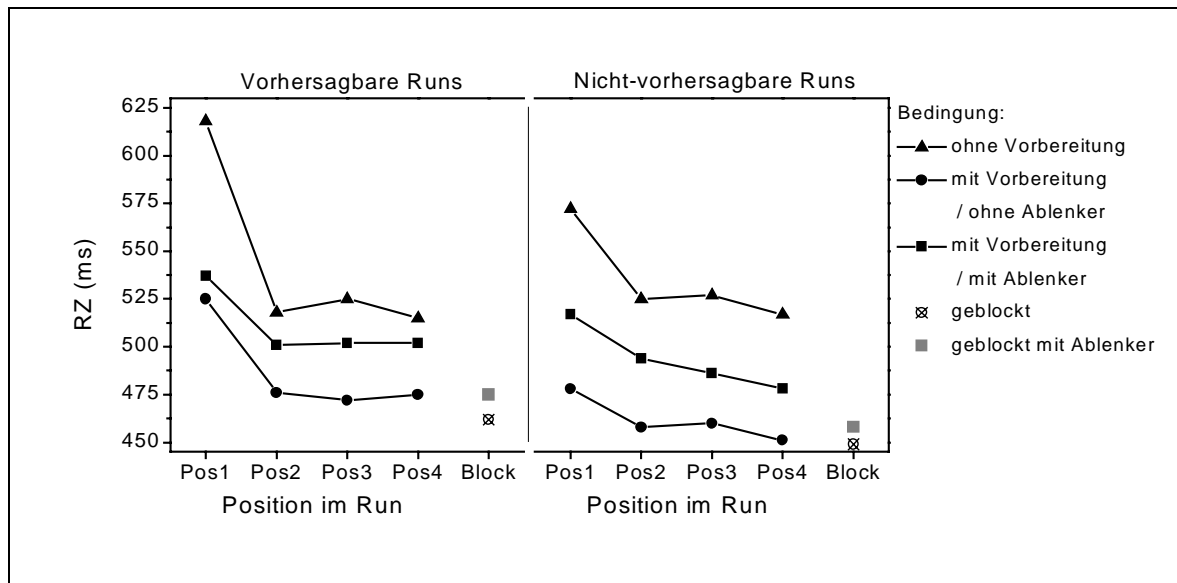


Abbildung 3.2 Mittlere Reaktionszeiten für die Positionen im Aufgaben-Run in den verschiedenen Bearbeitungsbedingungen. Rechts sind die Reaktionszeiten für die vorhersagbaren Runs dargestellt, links für die nicht-vorhersagbaren Runs.

Wie aus Abbildung 3.2 zu sehen ist, war eine starke Reduktion der Reaktionszeit jeweils von der ersten zur zweiten Position aufgetreten (20-100 ms), besonders in der Bedingung ohne Vorbereitung mit 100 ms in der *vorhersagbaren* und 47 ms in der *nicht-vorhersagbaren* Bedingung. Danach flacht die Kurve unter allen Bearbeitungsbedingungen deutlich ab. Eine weitere Datenanalyse ergab, dass eine signifikante Reduktion in allen Bedingungen nur von Position Eins zu Zwei vorlag [für alle Bearbeitungsbedingungen:  $t(9) \geq 2.5$  ;  $p < 0.05$ ], nicht jedoch für die nachfolgenden Positionen. Lediglich in der Ablenker-Bedingung ohne vorhersagbare Run-Abfolge zeigte die Reduktion von Position Zwei zu Vier mit 16 ms einen marginalen Effekt [ $t(9) = 2.2$  ;  $p = 0.058$ ].

Eine weitere Interaktion (siehe Abbildung 3.3) trat auf zwischen Run-Position und Vorhersagbarkeit [ $F(3, 54) = 5.0$  ;  $p = 0.004$ ], sie resultierte aus den unterschiedlichen Verläufen von Position Eins zu Zwei [ $F(1, 18) = 8.0$  ;  $p = 0.011$ ] und nicht von Zwei bis Vier [ $F(2, 36) = 1.6$  ;  $p = 0.221$ ]. Bei vorhersagbaren Runs traten sehr lange Antwortzeiten nach einem Aufgabenwechsel auf mit einer hohen Reduktion von Position Eins zu Zwei (62 ms), bei nicht vorhersagbaren Runs fiel die Reduktion (29 ms) geringer aus, verursacht durch weniger lange Antwortzeiten nach dem Aufgabenwechsel.

Einen Überblick über die Ergebnisse gibt Tabelle A.3 im Anhang.

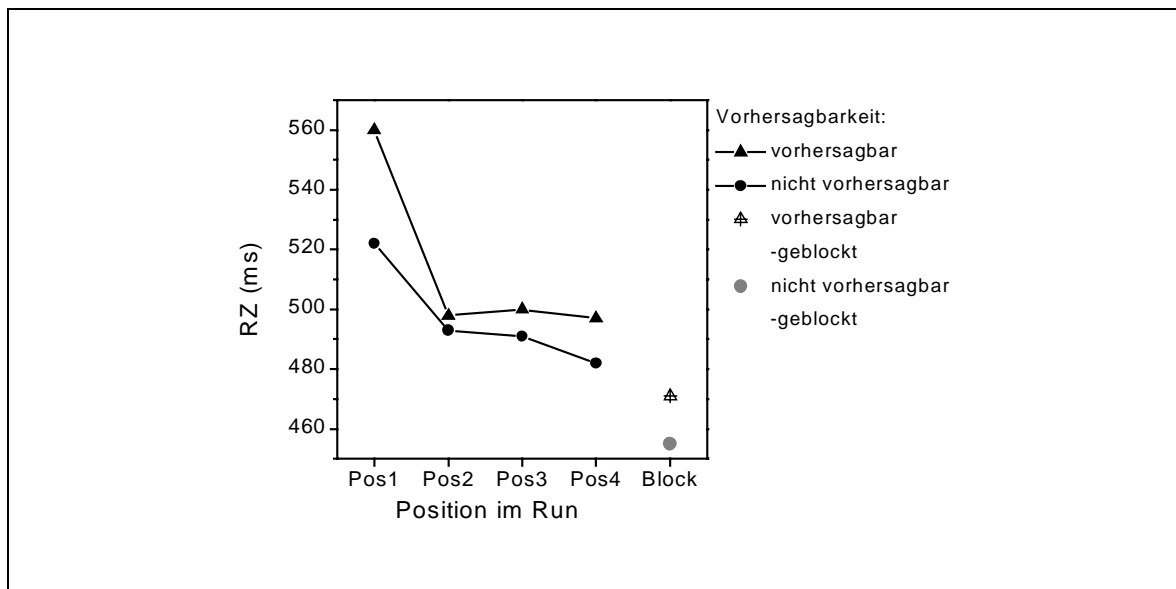


Abbildung 3.3 Mittlere Reaktionszeiten für die Positionen im Aufgaben-Run für vorhersagbare und nicht vorhersagbare Runs.

### 3.2.2 Vergleich der Wechselkosten zu Experiment I

Wie bei Experiment I traten bei Experiment II Wechselkosten beim Wechsel der Aufgabe als Blockeffekte sowie als sequentielle Effekte in allen Bearbeitungsbedingungen auf. Ein Vergleich der Wechselkosten von Experiment I, Experiment II-a und II-b ist Tabelle 3.1 und Abbildungen 3.4 zu entnehmen.

Am auffälligsten sind die erhöhten sequentiellen Effekte in Experiment II-a. Die Interaktion zwischen Experiment und Wechselbedingung erreichte mit  $[F(2, 27) = 4.2 ; p = 0.025]$  Signifikanz. Es gab keinen Unterschied zwischen den Experimenten bezüglich der Blockeffekte  $[F(2, 27) = 0.2 ; p = 0.801]$ . Die sequentiellen Effekte waren jedoch erhöht in Experiment II-a gegenüber Experiment II-b  $[t(18) = 2.6 ; p = 0.018]$ . Die Differenz zwischen Experiment II-a und Experiment I erreichte nur marginale Signifikanz  $[t(18) = 1.8 ; p = 0.083]$ , Experiment I und Experiment II-b unterschieden sich nicht  $[t(18) = 0.7 ; p = 0.485]$ . Insgesamt wird deutlich, dass der Wechsel der Aufgabe auf Trialebene eine grössere Zeitdauer in Anspruch nahm, wenn die Vpn mit vorhersagbaren Runs konfrontiert wurden, unabhängig von den Wechselkosten als Blockeffekt.

Tabelle 3.1 Vergleich der Wechselkosten als Blockeffekte und sequentielle Effekte zwischen Experiment I und II.

	Experiment I	Experiment II-a	Experiment II-b
Blockeffekt	59 ms	52 ms	51 ms
Sequentieller Effekt	33 ms	53 ms	26 ms

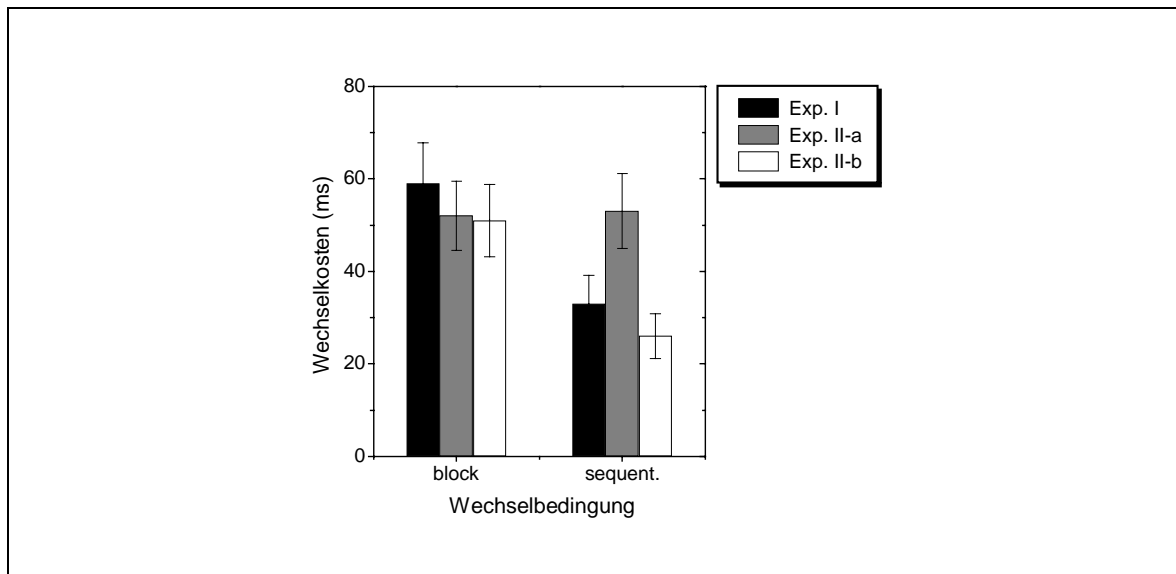


Abbildung 3.4 Vergleich der Wechselkosten als Blockeffekte und sequentielle Effekte zwischen Experiment I und II.

### 3.3 Diskussion

Die Hauptfragestellung dieses Experiments betraf die Aufgaben-Runs und die Frage nach der Existenz und dem Abbau proaktiver Interferenz. Auf den ersten Blick scheinen die Ergebnisse eindeutig: Es gab eine starke Reduktion der Antwortzeit von Position Eins zu Position Zwei, also vom Aufgabenwechsel zur ersten Aufgabenwiederholung. Danach blieben die Reaktionszeiten unter allen Bearbeitungsbedingungen konstant. In der Interferenz-Bedingung wurde unter der Inertia-Hypothese eine weitere Reduktion nach Position Zwei erwartet. Diese trat in der Bedingung mit vorhersagbaren Runs nicht auf, mit nicht vorhersagbaren Runs war allerdings ein Trend zu einer weiteren Reduktion zu erkennen. Wenn der Ablauf des Experiments durchschaubar war, wie auch bei der Runs-Aufteilung von Rogers und Monsell (1995), gab es keinen Hinweis auf proaktive Interferenz. Erst wenn der Ablauf des Experiments nicht vorhersehbar war (wie bei Allport et al., 1994), war eine Tendenz zum kontinuierlichen Abbau der Antwortzeiten feststellbar. Es lag also ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Experimenten von Allport et al. und Rogers und Monsell vor, der sich auch in den Ergebnissen dieses Experiments widerspiegelte: Das Auftreten proaktiver Interferenz in Abhängigkeit von der Darbietung der Aufgaben und damit verbunden eine bestimmte Bearbeitungsstrategie der Versuchspersonen. Warum verschiedene Bearbeitungsstrategien als Ursache für die unterschiedliche Wirkung proaktiver Interferenz angenommen wird, soll im Zusammenhang mit den sequentiellen Kosten des Aufgabenwechsels erläutert werden. In Experiment I und II wurden Wechselkosten als Blockeffekte in vergleichbarer Höhe gefunden. Eingangs wurde die Hypothese formuliert, dass die Wechselkosten in Experiment II-a aufgrund der Vorhersagbarkeit reduziert sein sollten. Die Ergebnisse widersprachen dieser Hypothese, denn als sequentieller Effekt waren die Wechselkosten deutlich erhöht. Die Vpn hatten die Gewissheit, dass sich die

Aufgabe viermal nacheinander wiederholt und haben sich bereits mit dem Aufgabenwechsel (Position Eins) darauf eingestellt. Bei diesem langen und sicheren Aufgaben-Run lohnte sich eine andauernde Einstellung auf ein Aufgabenschema. Diese ist verbunden mit starker Aktivierung des relevanten Aufgabenschemas und starker Hemmung des irrelevanten Schemas. Durch diese intensive Einstellung fiel jedoch der Wechsel zur alternativen Aufgabe schwerer, da stärkere vorangegangene Aktivierungen und Hemmungen zu überwinden waren. Der Effekt ist deutlich an den hohen sequentiellen Wechselkosten und den langsamen Reaktionen an Run-Position Eins bei vorhersagbaren Runs zu erkennen.

Proaktive Interferenz wirkte über die Bottom-Up-Aktivierung eines vorangegangenen Aufgabenschemas durch einen ablenkenden Reiz. Sie ist bei den vorhersagbaren Runs schwach ausgeprägt, denn das Schema zur alternativen Aufgabe wurde sehr stark gehemmt. Ist der Ablauf des Experiments nicht vorhersagbar, bleibt der Aufwand für die Hemmung weniger stark, denn die Vp muss jederzeit mit einem Aufgabenwechsel rechnen. Das weniger stark gehemmte Schema zur alternativen Aufgabe lässt sich durch einen Reiz nun leichter aktivieren, mit daraus resultierender proaktiver Interferenz.

Warum zeigte sich in der Interferenzbedingung des nicht vorhersagbaren Ablaufs *nur ein Trend* zur kontinuierlichen Reduktion der Antwortzeiten, der die Signifikanz verfehlte? Die Antwort ist in der insgesamt schwach ausgeprägten Interferenzwirkung auf der Ebene der Aufgabenschemata zu suchen. Der ablenkende Reiz konnte bereits auf der Wahrnehmungsebene so effektiv gehemmt werden, dass ein konkurrierendes Aufgabenschema kaum aktiviert werden konnte. Die Basis für die proaktive Interferenz ist damit nur schwach ausgeprägt. Ziel eines weiteren Experiments sollte es daher sein, die Interferenz innerhalb eines Trials nicht nur zu erhöhen, sondern auch ein Durchdringen des Einzelablenkers auf die Ebene der Aufgabenschemata zu erreichen. Im folgenden Experiment wurde daher versucht, das Ausmass der Interferenz durch Variation der räumlichen Beziehungen zwischen den Reizen zu erhöhen, um die Auswirkungen auf die Wechselkosten und die Runs-Verläufe abschätzen zu können.

## 4. Experiment III

Zu Beginn dieser Untersuchung wurden mehrere potentielle Ursachen für die Entstehung von Wechselkosten beim Wechsel zwischen verschiedenen Aufgaben herangezogen. Als Hauptursache gilt die Umstellung auf ein neues Aufgabenschema, das zur Bearbeitung einer bestimmten Aufgabe notwendig ist. Verschiedene andere Faktoren interagieren mit diesem Umstellungsprozess, wie etwa die Möglichkeit, sich auf einen anstehenden Aufgabenwechsel vorzubereiten. Durch die Kenntnis der Aufgabe, die zu bearbeiten ist, lassen sich die Wechselkosten drastisch reduzieren – es besteht die Möglichkeit, top down Einfluss auf den Umstellungsprozess zu nehmen. Als weiterer Einflussfaktor wirkt sich der Reiz auf die Umprogrammierung des Bearbeitungsschemas aus. Bottom up wird ein bereits vorhandenes Bearbeitungsschema aktiviert und unterstützt damit den Umstellungsprozess.



Diese fördernde Wirkung von der Reizebene auf die Steuerungsprozesse kann sich auch in einen störenden Einfluss wandeln, wenn durch mehrere gleichzeitig dargebotene Reize für unterschiedliche Aufgaben Interferenz hervorgerufen wird. Jetzt können auch Aufgabenschemata ausgelöst werden, die nicht zur aktuell relevanten Aufgabe gehören und damit den Umstellungsvorgang stören oder verzögern. Bei den klassischen Experimenten mit kognitiven Entscheidungsaufgaben haben zusätzlich mit dem relevanten Reiz dargebotene ablenkende Reizziffern oder -buchstaben die Wechselkosten erhöht, besonders wenn widersprüchliche Antwortreaktionen auf die relevante und die komplementäre Aufgabe generiert wurden. Der sich daraus ergebende Konsistenz- oder Kompatibilitätseffekt hatte bei den kognitiven Entscheidungsaufgaben direkten Einfluss auf die Wechselkosten. Wenn auf zwei unterschiedliche Aufgaben widersprüchliche Antworten zu geben waren, waren sowohl die Reaktionen verzögert, als auch die Wechselkosten bei einer Aufgabenumstellung erhöht im Vergleich zu gleichen Antworten auf beide Aufgaben. Die Hypothese, dass diese Effekte auch bei Aufgaben zur visuellen Suche auftreten, liess sich durch die ersten beiden Experimente nicht bestätigen. Zusätzliche ablenkende Reize wirkten insgesamt verzögernd auf die Antwortreaktionen, es liessen sich aber weder Konsistenzeffekte noch erhöhte sequentielle Wechselkosten nachweisen. Den Versuchspersonen gelang es, den Ablenker bereits auf der Wahrnehmungsebene zu hemmen. Dieser wurde nicht vollständig verarbeitet, so dass die Wirkung der Interferenz nicht auf die Ebene der Schemata für die Klassifizierungsaufgabe vordringen konnte. Es war somit nicht gelungen, den Beitrag der Interferenz zu den Kosten des Aufgabenwechsels vollständig abzuschätzen. Auch ein Beleg für die proaktive Interferenz, die nach Allport et al. (1995) für einen kontinuierlichen Abbau der Antwortzeiten in Aufgaben-Runs sorgt, steht noch aus.

Durch das dritte Experiment sollte versucht werden, die Wirkung eines Einzelablenkers zu verstärken und damit die Interferenz zu erhöhen. Bisher wurden der Zielreiz und der Einzelablenker an räumlich getrennten Positionen dargeboten. Die Verarbeitung der Identität eines Reizes erfordert die Verlagerung der räumlichen Aufmerksamkeit auf diesen Reiz. Da es möglich war, diese Aufmerksamkeitsverschiebung zu unterdrücken, wurde die Identität des Ablenkers nicht verarbeitet – es entstand keine Interferenz auf der Schema- und Antwortebene. Um die Verarbeitung der störenden Information zu forcieren, wurde die räumliche Distanz zwischen Zielreiz und Einzelablenker beseitigt. Daraus ergab sich ein Zielobjekt mit zwei verschiedenen Reizmerkmalen, die Form- und die Farbeigenschaft waren in einem Objekt eingebunden. Nach der bisher betrachteten merkmalsbasierten Selektion der Zielreize gibt es zwei Möglichkeiten für die Verarbeitung der Reizmerkmale: Es ist möglich, dass die Hemmung eines Ablenkers von der getrennten räumlichen Position abhängt. Die Hemmung wird dadurch erreicht, dass die Verlagerung der Aufmerksamkeit auf die Position des Ablenkers verhindert wird, die zur Verarbeitung der Identität notwendig ist. Sind ablenkendes Merkmal und Zielmerkmal an derselben Position, entfällt die Aufmerksamkeitsverschiebung und damit die Hemmungsmöglichkeit. Einen ähnlichen Ansatz verfolgen die Vertreter der objektbezogenen Selektion eines Zielreizes (Duncan und Humphreys, 1989, 1992). Danach selektiert die Aufmerksamkeit ein Objekt als struktu-

relle Einheit, welche komplett in das visuelle Kurzzeitgedächtnis aufgenommen wird. Von diesem Moment an stehen sämtliche Merkmalsinformationen über das Objekt zur Verfügung. Im Fall der objektbasierten Selektion sollten daher ebenfalls beide Reizmerkmale, das relevante und das ablenkende, wahrgenommen und verarbeitet werden. Eine weitere Möglichkeit der visuellen Suche besteht in der rein merkmalsbasierten Selektion aufgrund einer einzigen Reizeigenschaft, bei der die Hemmung einer ablenkenden Eigenschaft unabhängig von der Verlagerung der räumlichen Aufmerksamkeit ist.

Bei der räumlichen Aufmerksamkeitsverschiebung als Hemmungsgrundlage wie auch der objektbasierten Selektion ist eine höhere Interferenzwirkung einschliesslich eines Einflusses auf der Ebene der Aufgabenschemata und Antwortgenerierung zu erwarten. Zu erkennen ist dies über den Konsistenzeffekt bei widersprüchlichen Antwortreaktionen. Bei der räumlich unabhängigen Hemmung eines ablenkenden Merkmals sollten keine höhere Interferenz und kein Konsistenzeffekt resultieren, das Ergebnis sollte identisch sein zu denen aus Experiment I und II.

Die weiteren Hypothesen in diesem Experiment setzen die verstärkte Wirkung von Interferenz bzw. das Vorliegen von Konsistenzeffekten voraus: Ein zentraler Aspekt der Untersuchungen war die Auswirkung von Interferenz auf die Wechselkosten. Wenn beim Wechsel zwischen visuellen Suchaufgaben die gleichen Mechanismen wirken wie bei kognitiven Entscheidungsaufgaben, so sollte auch hier eine Steigerung der Interferenz mit einem Anstieg der Wechselkosten einhergehen. D.h. ein Wechsel der Suchaufgabe bei einer stark interferenzbelasteten Reizvorlage hat zeitintensivere Umstellungsprozesse zur Folge als bei Reizvorlagen mit schwacher Interferenzbelastung. In diesem Zusammenhang würde auch der Verlauf der Reaktionszeiten in Aufgaben-Runs beeinflusst. In diesem Experiment wurden die Aufgaben in den Wechselblöcken wie beim ersten Experiment in zufälliger Abfolge dargeboten, der Ablauf war also für die Vpn nicht vorhersehbar. Die Aufgaben-Runs ergaben sich wiederum aus der zufälligen mehrfachen Wiederholung derselben Aufgabe. Der stufenweise Abbau der Reaktionszeit, der sich auch schon bei der nicht vorher-sagbaren Aufgabenabfolge in Experiment II andeutete, sollte in diesem Experiment deutlicher zutage treten, wenn ein verstärkter Einfluss von Interferenz vorliegt. Die irrelevante Aufgabe, von der sich die Vp gerade getrennt hat, wirkt durch proaktive Interferenz nach, unterstützt von ständiger Neuaktivierung durch einen ablenkenden Reiz. Ist diese Neuaktivierung nicht vorhanden, fällt die proaktive Interferenz geringer aus und der Abbau sollte in einem Schritte erfolgen – in Form einer einmaligen Rekonfiguration des Aufgabenschemas.

## **4.1 Methode**

### ***4.1.1 Reize und Versuchsaufbau***

Die Reize waren identisch zu denen in Experiment I und II, mit der Ausnahme, dass in der Hälfte der Durchgänge Zielreize mit zwei Reizeigenschaften vorkamen (siehe Abbildung

5.1). Diese Reize waren rote und blaue Dreiecke und rote und blaue Rechtecke. In der Grösse entsprachen sie den grünen Dreiecken und Rechtecken, in der Farbe den roten und blauen Ringen. Der Versuchsaufbau war identisch zu dem in Experiment I und II.

#### 4.1.2 Ablauf

In Experiment III gab es nur noch Blöcke mit Ablenker bzw. ablenkendem Merkmal. Entweder wurden ein farb- und ein formabweichender Reiz gleichzeitig oder ein Zielreiz mit zwei abweichenden Eigenschaften dargeboten. Die Hinweisreize FARBE oder FORM wurden vor jedem Durchgang dargeboten, um die Aufgabe zu spezifizieren und um eine Vorbereitung auf die Aufgabe zu ermöglichen. Der Zeitablauf der Trials blieb gegenüber den Experimenten I und II unverändert.

Die Farb- und die Formaufgabe wurden zusätzlich in geblockter Form dargeboten, also ohne Wechsel der Aufgabe. Jeder Experimentalblock hatte eine Länge von 96 Durchgängen. Zwei Blöcke je Aufgabe wurden ohne Wechsel, acht Blöcke mit randomisiertem Wechsel bearbeitet. Von den Vpn wurden 5 Übungs- und 12 Experimentalblöcke innerhalb einer Sitzung bearbeitet. Die Sitzung dauerte etwa 90-100 Minuten.

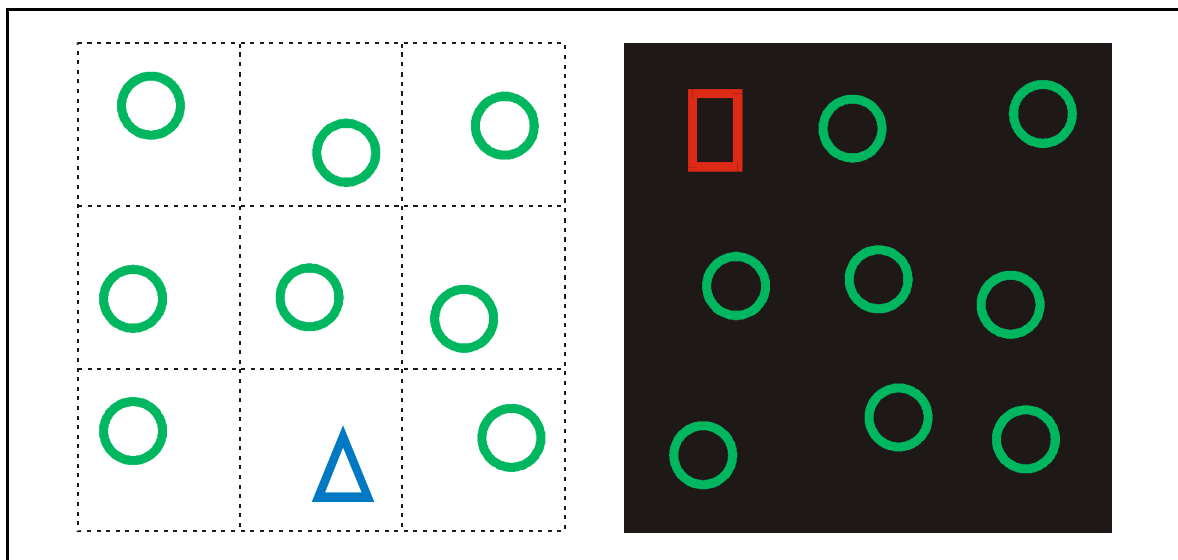


Abbildung 4.1 Beispiel für die Testreiz-Darbietung in Experiment III. In der Hälfte der Durchgänge gab es nur einen Zielreiz, jedoch mit zwei Zieleigenschaften, einer farb- und formabweichenden. Links ist das dunkle Dreieck der Zielreiz, rechts das helle Rechteck.

#### 4.1.3 Versuchsplan

Die Darbietungsart (geblockt, randomisiert), die Aufgabe und die Konsistenz wurden wie in den vorhergehenden Experimenten variiert. Zusätzlich wurde der Faktor *Anzahl der Zielreize* aufgenommen: Abweichend zu Experiment I und II sahen die Vpn in der Hälfte der Durchgänge zwei mögliche Zielreize im Display, in der anderen Hälfte nur einen Zielreiz, jedoch mit zwei abweichenden Zieleigenschaften. Die Anzahl der Zielreize wurde randomisiert dargeboten.

#### 4.1.4 Versuchspersonen

Unter den 10 studentischen Vpn waren neun Frauen und ein Mann. Der Altersbereich erstreckt sich von 17 bis 43 Jahre, alle waren Rechtshänder, mit normalem oder korrigiertem Visus. Keine Vpn hatte zuvor an Experiment I oder II teilgenommen.

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Blockeffekte

Die Kosten für den Aufgabenwechsel als Blockeffekt traten in diesem Experiment in Höhe von 78 ms auf [ $F(1, 9) = 36.4$ ;  $p < 0.001$ ]. Trotz der um 63 ms schnelleren Bearbeitung der Farbaufgabe gegenüber der Formaufgabe [ $F(1, 9) = 41.4$ ;  $p < 0.001$ ] waren die Wechselkosten für beide Aufgaben gleich hoch [ $F(1, 9) = 1.2$ ;  $p = 0.297$ ] (siehe Abbildung 4.2, links). Erhöhte Wechselkosten lagen bei der Darbietung von zwei merkmalsabweichenden Reizen (90 ms) im Vergleich zu nur einem Reiz (65 ms) vor [Interaktion:  $F(1, 9) = 5.2$ ;  $p = 0.049$ ] (Abbildung 4.2, rechts). Die vollständigen Ergebnisse sind in Tabelle A.11 im Anhang aufgeführt.

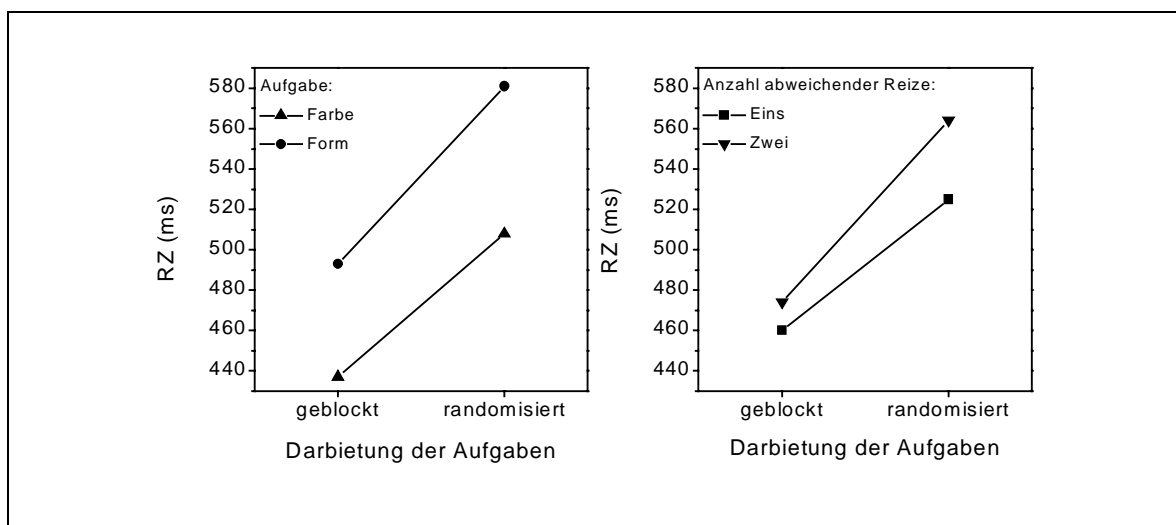


Abbildung 4.2 Reaktionszeiten für die geblockte und randomisierte Darbietung der Aufgaben in Abhängigkeit von der Aufgabe (links) und der Anzahl der merkmalsabweichenden Reize (rechts).

Auf einen einzelnen Zielreiz (493 ms) konnten die Vpn schneller reagieren, als bei einem räumlich getrennten Einzelablenker (519 ms) [ $F(1, 9) = 17.5$ ;  $p = 0.002$ ]. Die Reizanzahl beeinflusste auch die Bearbeitung der Aufgaben: Wie in Abbildung 4.3 (links) zu sehen ist, wurde die Formaufgabe stark verlangsamt durch einen räumlich getrennt dargebotenen farbabweichenden Einzelablenker (47 ms), bei der Farbaufgabe zeigte sich hingegen kein störender Einfluss durch einen Formablenker (6 ms) [ $F(1, 9) = 28.7$ ;  $p < 0.001$ ].

Wie in den vorangegangenen Experimenten fand sich kein Haupteffekt des Faktors Konsistenz [ $F(1, 9) = 0.8$ ;  $p = 0.395$ ]; konsistente und inkonsistente Zielreize lieferten fast identische Reaktionszeiten (505 vs. 506 ms). Eine Wirkung der Reizkonsistenz wurde nur

in der Interaktion der Faktoren Konsistenz und Reizanzahl [ $F(1, 9) = 6.9$  ;  $p = 0.028$ ] deutlich. Jedoch lag weder bei *einem* abweichenden Reiz [ $t(9) = 1.6$  ;  $p = 0.155$ ] noch bei *zwei* abweichenden Reizen [ $t(9) = 2.1$  ;  $p = 0.06$ ] ein Konsistenzeffekt vor (Abbildung 4.3, rechts).

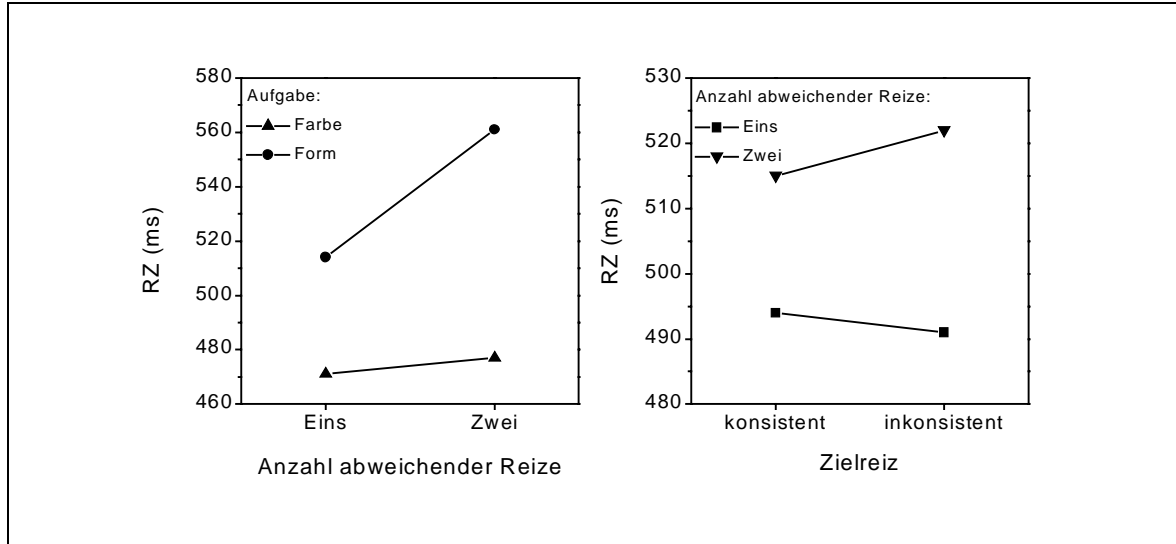


Abbildung 4.3 Links: Reaktionszeiten für *einen* und *zwei* merkmalsabweichende Reize in Abhängigkeit von der Aufgabe.

Rechts: Reaktionszeiten für konsistente und inkonsistente Zielreize in Abhängigkeit von der Anzahl merkmalsabweichender Reize.

#### 4.2.2 Sequentielle Effekte

Die sequentiellen Kosten des Aufgabenwechsels erreichen eine Höhe von 45 ms [ $F(1, 9) = 10.3$  ;  $p = 0.011$ ]. Wie aus Abbildung 4.4 zu ersehen, zeigte sich dabei ein Trend zu höheren Wechselkosten bei der Farbaufgabe (58 ms) im Vergleich zur Formaufgabe (32 ms) [Interaktion:  $F(1, 9) = 5.0$  ;  $p = 0.053$ ] bei Wechselkosten in vergleichbarer Höhe für zwei abweichende Reize (49 ms) im Vergleich zu einem Reiz (40 ms) [ $F(1, 9) = 2.4$  ;  $p = 0.155$ ]. Die vollständigen Ergebnisse sind Tabelle A.12 im Anhang zu entnehmen.

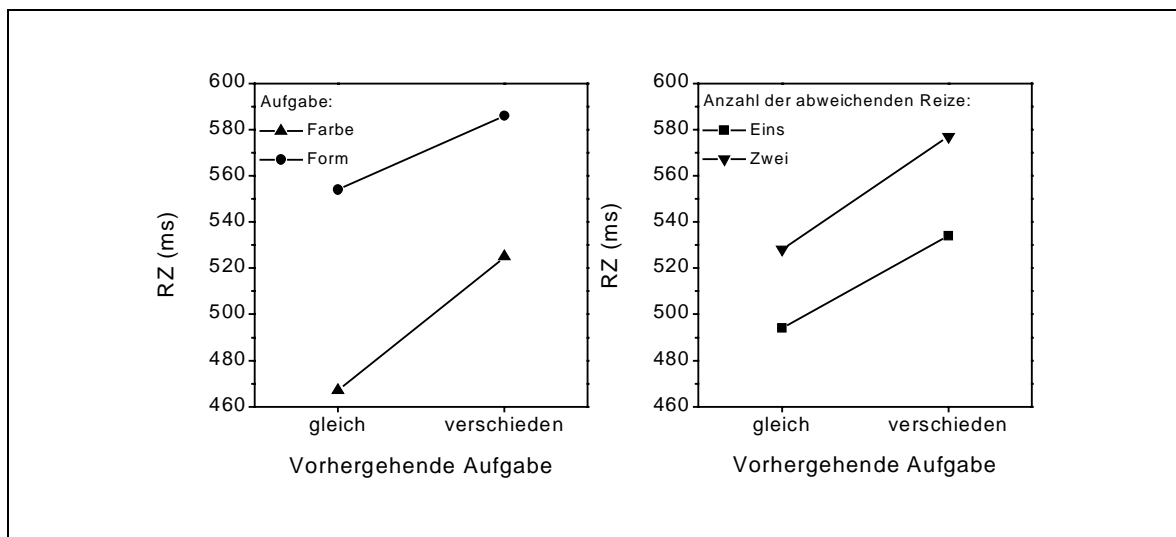


Abbildung 4.4 Reaktionszeiten für die unterschiedlichen Aufgaben (links) und die Anzahl der merkmalsabweichenden Reize (rechts) in Abhängigkeit von der vorhergehenden Aufgabe.

### 4.2.3 Runs

Wie in Experiment I wurden auch hier die Aufgaben-Runs untersucht, die sich zufällig durch die randomisierte Darbietung in den Wechselblöcken ergaben. Durch die grössere Anzahl von Blöcken in nur einer Bedingung (mit Ablenker) fanden sich genug Daten für Runs bis zur Position 5. Neben einem Haupteffekt für den Faktor Run-Position (Eins bis Fünf) [ $F(4, 36) = 16.6$  ;  $p < 0.001$ ] zeigten Einzelvergleiche, dass auch nach der zweiten Position eine Reduktion der Reaktionszeit erfolgte. Die Reaktionszeit verringerte sich von Position Eins zu Zwei um 45 ms [ $t(9) = 3.2$  ;  $p = 0.011$ ], von Position Zwei zu Drei um 16 ms [ $t(9) = 3.6$  ;  $p = 0.005$ ] und von Position Drei zu Vier um 13 ms [ $t(9) = 2.7$  ;  $p = 0.025$ ]. Von Position Vier zu Fünf erfolgte keine Reduktion [8 ms;  $t(9) = 0.9$  ;  $p = 0.388$ ]. Nach einer Bonferroni-Korrektur für vier Signifikanztest verminderte sich das Signifikanzniveau von  $\alpha = 0.05$  auf  $\alpha = 0.0125$ , womit nur von den Positionen Eins zu Zwei und Zwei zu Drei bedeutsame Reduktionen erfolgten. Die Reaktionszeit-Mittelwerte für die Run-Positionen sind in Abbildung 4.5 aufgeführt und dargestellt.

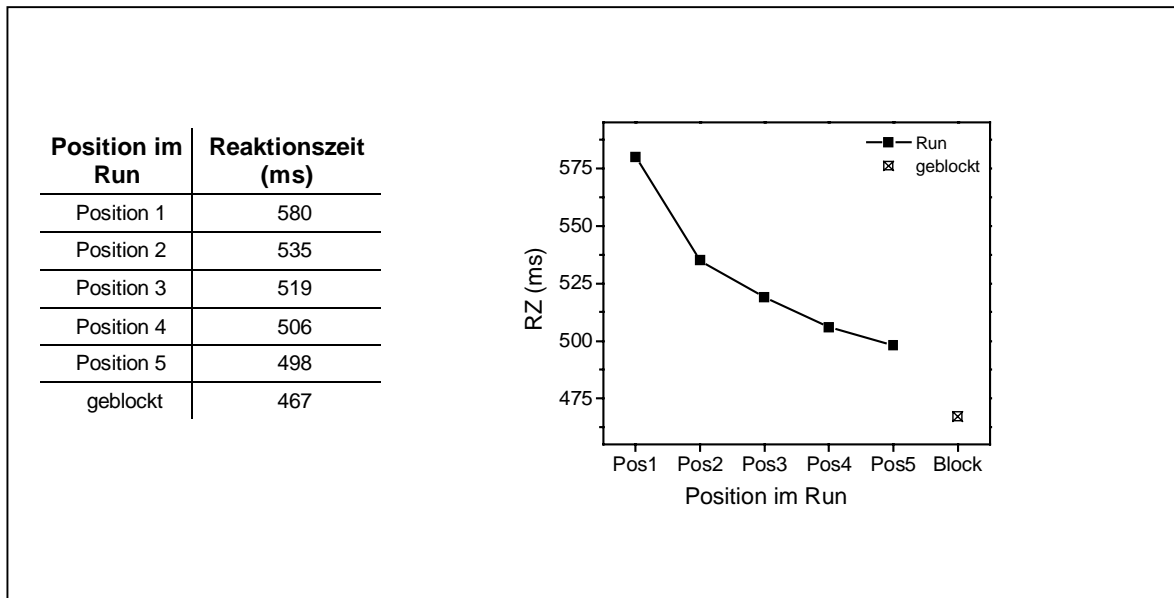


Abbildung 4.5 Mittlere Reaktionszeiten für die Positionen im Aufgaben-Run. Rechts im Diagramm ist die Reaktionszeit für die Darbietung ohne Wechsel (geblockt) dargestellt.

Um festzustellen, ob sich unterschiedliche Runs-Verläufe für die Aufgaben und für die verschiedenen Reizanzahlen ergaben, wurden zwei verschiedene Aufsplittungen der Kurve vorgenommen. Da sich hierbei die Datenmenge halbierte, wurde nur bis zur Run-Position Vier ausgewertet, an Position Fünf stand keine ausreichende Datenmenge zur Verfügung. Die Aufteilung in Trials mit *einem* und *zwei* Zielreizen, dargestellt in Abbildung 4.6 (links), ergab keine unterschiedlichen Runs-Verläufe [Interaktion von Run-Position und Anzahl der Zielreize:  $F(3, 27) = 0.8$  ;  $p = 0.485$ ]. Ebenfalls nicht signifikant unterschiedlich waren die Run-Verläufe für die Farb- und Formaufgabe [Interaktion von Run-Position und Aufgabe:  $F(3, 27) = 1.7$  ;  $p = 0.190$ ], dargestellt in Abbildung 4.6 (rechts).

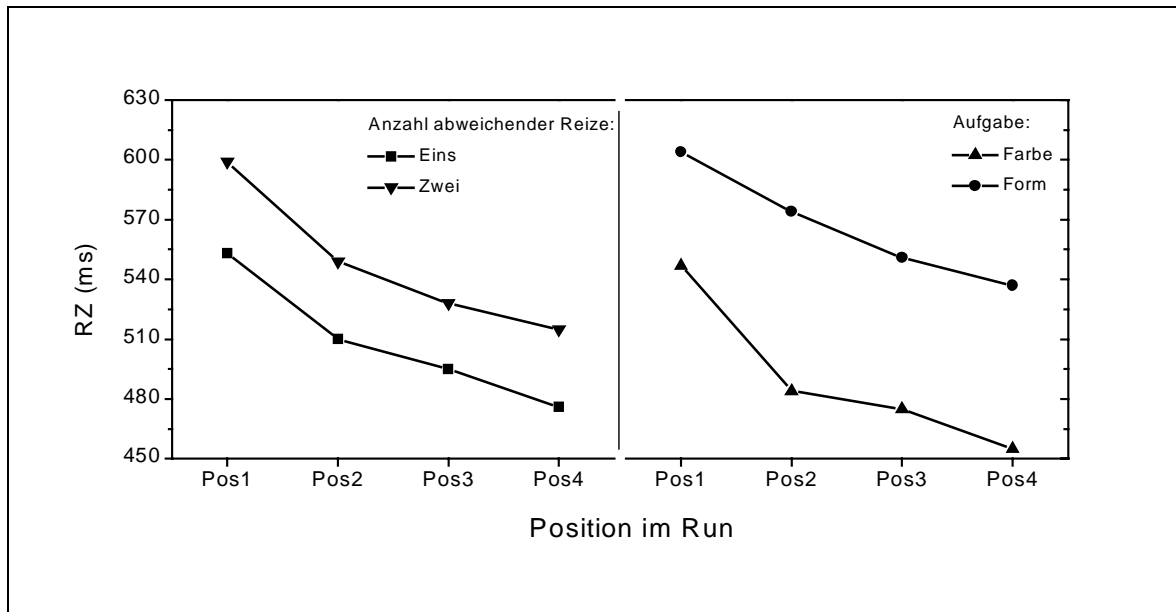


Abbildung 4.6 Mittlere Reaktionszeiten für die Positionen im Aufgaben-Run, aufgeteilt nach der Anzahl abweichender Reize (links) und nach der Aufgabe (rechts).

#### 4.2.4 Vergleich der Wechselkosten mit Experiment I

Eingangs wurde vermutet, dass durch die veränderte Reizdarbietung ein grösseres Ausmass an Interferenz erzeugt wird, verbunden mit einer Erhöhung der Wechselkosten. Um zu entscheiden, ob sich durch das geänderte Design tatsächlich höhere Wechselkosten ergaben, soll hier ein Vergleich zur Ablenker-Bedingung von Experiment I erfolgen. Dort betrugen die Wechselkosten als Blockeffekt 55 ms, als sequentieller Effekt 17 ms, in Experiment III waren die Werte 78 ms und 45 ms (siehe Abbildung 4.7). Die Experimente erwiesen sich jedoch bezüglich der Wechselkosten als nicht signifikant unterschiedlich [ $F(1, 18) = 2.7$  ;  $p = 0.115$ ].

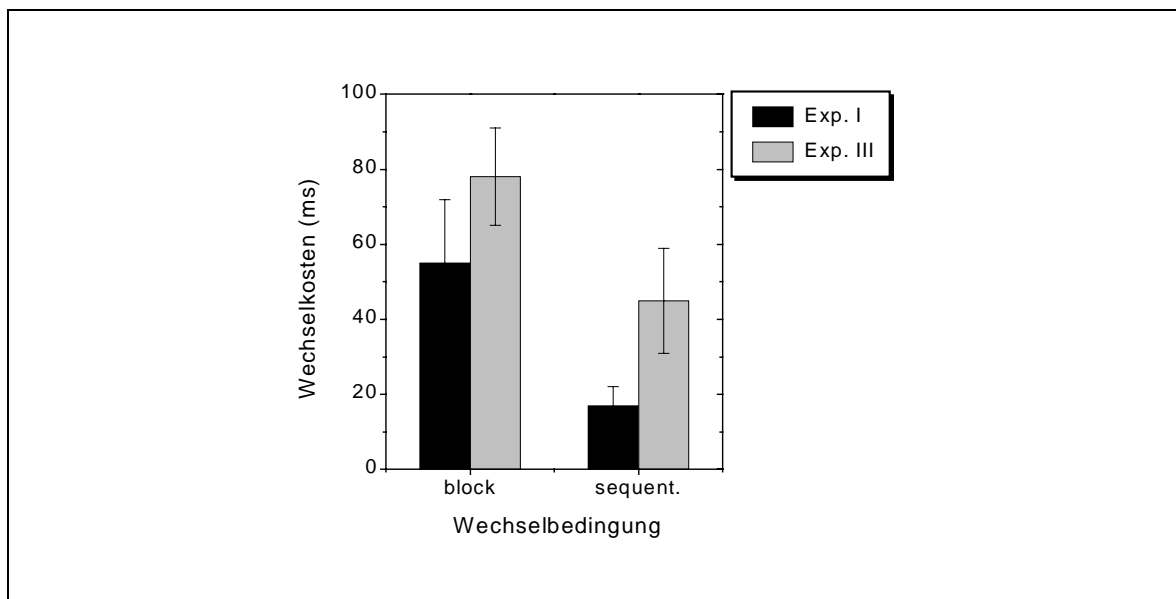


Abbildung 4.7 Unterschied zwischen den Wechselkosten in Experiment I und Experiment III.

#### 4.2.5 Fehler

Die Fehlerhäufigkeit betrug im Mittel 3,0 Prozent, ohne Anzeichen eines speed-accuracy trade-off. Auf eine weitere Auswertung der Fehler wurde verzichtet.

### 4.3 Diskussion

Im Mittelpunkt dieses Experiments stand die Untersuchung der Interferenzwirkung auf die Aufgabenschemata (Konsistenz), die Wechselkosten und die Aufgaben-Runs. Nach einem schwach ausgeprägten Einfluss in den beiden ersten Experimenten sollte die Interferenz durch eine veränderte Qualität der Ablenkung vom Zielreiz gesteigert werden. Wurde dieses Ziel durch die Änderung vom räumlich separierten Einzelablenker zum ablenkenden Reizmerkmal (Merkmalsablenker) innerhalb des Zielreizes erreicht?

Neben generell langsameren Reaktionen bei zwei abweichenden Reizen waren als Blockeffekt höhere Wechselkosten zu beobachten, wenn zwei Reize gleichzeitig präsentiert wurden im Vergleich zu nur einem Zielreiz mit zwei Eigenschaften. Dieser Effekt setzte sich allerdings in den sequentiellen Wechselkosten nicht fort, denn hier gab es keine unterschiedlichen Kosten für einen oder zwei Reize. Die Anwesenheit des Einzelablenkers wirkte nicht symmetrisch, denn nur bei der Reaktion auf den Formreiz waren die Antwortzeiten durch einen räumlich getrennten, farbabweichenden Reiz verzögert. Reaktionen auf Farbreize blieben durch den zweiten, formabweichenden Reiz unbeeinflusst.

Wie sind diese Ergebnisse zu erklären? Gehen wir davon aus, dass eine Vp bei der Suche nach dem Zielreiz den Ort der höchsten Aktivierung im visuellen Feld aufsucht (repräsentiert auf einer Aktivierungskarte), so ist dieser sehr schnell zu finden, wenn nur ein Zielreiz vorhanden ist. Dieser eine Zielreiz ist noch dazu sehr salient, da er sich durch Farbe und Form von den Ablenkern unterscheidet. Bei Zielreizen mit zusätzlichem Einzelablenker gibt es Aktivierungen an zwei unterschiedlichen Orten auf der Aktivierungskarte. Nun muss der Ort des Zielreizes aufgesucht werden, damit dieser hinsichtlich seiner Zieleigenschaft analysiert werden kann. Das ist wiederum nur möglich, wenn der Ort des Einzelablenkers eine geringere Aktivierung aufweist, da sonst die Aufmerksamkeit unter Umständen an den falschen Ort gelenkt wird. Es ist ein bestimmter Aufwand erforderlich, den Einzelablenker zu hemmen und wie bereits in den vorangegangenen Experimenten bildete dieser Aufwand einen Teil der Blockeffekte des Aufgabenwechsels. Innerhalb eines Wechselblocks war der Aufwand konstant, es gab keine Unterschiede zwischen Wiederholungs- und Wechseltrials. Ein grosser Hemmungsaufwand bestand für die Formaufgabe, denn die Salienz der Farbabweicher ist grösser als die der Formabweicher. Insoweit wurden die Ergebnisse der vorangegangenen Experimente bestätigt; in denen ergaben sich ähnliche Differenzen zwischen der Bedingung mit nur einem eindeutigen Zielreiz und der Interferenzbedingung mit Zielreizen und Einzelablenkern.

Nicht erreicht wurde das Ziel dieses Experiments, einen Konsistenzeffekt zu provozieren, indem die Distanz zwischen Zielreiz und Einzelablenker eliminiert und beide abweichenden Merkmale in einem Objekt eingebunden wurden. Ein Haupteffekt der Konsistenz lag



nicht vor, nur eine Interaktion mit der Anzahl der Zielreize – ohne jedoch einen signifikanten Einfluss bei einem oder zwei Reizen auszuüben. Offensichtlich gelang es den Vpn, bei einem einzelnen Reiz nur die Identität des aufgabenrelevanten Merkmals zu verarbeiten, denn es wurden nicht Antworten auf beide Aufgaben generiert, die sich gegenseitig beeinflussen konnten. Die fehlende Einflussnahme lässt den Schluss zu, dass die Hemmung bereits auf der Ebene der Merkmalskarten effektiv funktioniert und unabhängig ist von einer Verlagerung der räumlichen Aufmerksamkeit. Auch die Möglichkeit von objektbasierter Selektion des Zielreizes scheidet aus, denn in diesem Fall stünden automatisch alle Informationen über den Reiz zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung. Bleibt in diesem Fall nur die merkmalsbasierte Selektion mit ortsunabhängiger Hemmung des ablenkenden Merkmals.

Schliesslich zeigte sich auch bei dem Verlauf der Reaktionszeiten in den Aufgaben-Runs ein überraschendes Ergebnis. Ein deutlicher Abbau der Reaktionszeit lag auch nach der ersten Aufgabenwiederholung vor, jedoch nicht spezifisch für die Bedingung mit der höheren Interferenzbelastung, also der mit dem Einzelablenker. Runs mit einem und zwei abweichenden Reizen zeigten vielmehr den gleichen Reaktionszeitverlauf. Ebenso lag für den salienten Farbreiz kein anderer Verlauf vor als für den Formreiz. Es ist möglich, dass in diesem Experiment durch das veränderte Design insgesamt ein höheres Interferenzniveau herrschte, welches die Grundlage für die Wirkung proaktiver Interferenz bot, die aus dem Reaktionszeitverlauf über die Run-Positionen zu erkennen ist. Andererseits kann aber auch die neue Stichprobe die Ursache für den Reaktionszeitverlauf sein. Beim zweiten und dritten Experiment traten sehr heterogene Verläufe auf, besonders häufig war eine Zunahme der Reaktionszeit nach der ersten Aufgabenwiederholung zu beobachten. In diesem Experiment trat diese Zunahme seltener und in abgeschwächter Form auf.

Das Fazit aus diesem Experiment: Durch die Hinzunahme eines ablenkenden Merkmals innerhalb des Zielreizes konnte der Einfluss der Interferenz weder gesteigert, noch in seiner Qualität verändert werden. Auswirkungen bis auf die Ebene der Aufgabenschemata und die Antwortebene waren wiederum nicht zu erkennen. Auch eine Zunahme der Wechselkosten im Vergleich zu Experiment I konnte statistisch nicht belegt werden. Es konnten jedoch Erkenntnisse über die visuellen Suchprozesse gewonnen werden, besonders zur Hemmung ablenkender Information im visuellen Feld. Die Suche erfolgte rein merkmalsbasiert, mit der Möglichkeit, ein Reizmerkmal selektiv zu analysieren und ein ablenkendes zu hemmen – selbst innerhalb eines Objekts. Objektbasierte Selektion scheidet daher als Grundlage der Suche aus. Auch ist die räumliche Distanz zwischen Zielreiz und Ablenker für die Hemmung irrelevanter Information nicht zwingend notwendig. Trotzdem entstand ein höherer Zeitaufwand, wenn ein Einzelablenker im visuellen Feld präsent war. Möglicherweise entsteht eine zusätzliche Belastung weniger aus der Hemmung der ablenkenden Merkmalsinformation, sondern aus der Unterdrückung der räumlichen Ablenkung der Aufmerksamkeit durch einen Ablenker.

Um weiteren Aufschluss über die Prozesse der visuellen Suche zu bekommen und deren Effekte zu denen der Klassifizierungsaufgabe und der Antwortgenerierung abzugrenzen, wurde im letzten Experiment eine reine Reizentdeckungsaufgabe durchgeführt.

## 5. Experiment IV

Das erste Experiment war so aufgebaut, dass es in weiten Teilen dem klassischen Aufgabenwechsel-Paradigma mit kognitiven Entscheidungsaufgaben wie der Klassifizierung von Ziffern-, Buchstaben-, oder Wortreizen entsprach. Dadurch sollte eine weitestgehende Vergleichbarkeit zu diesen Experimenten hergestellt werden. Die Ebenen der Wahrnehmung des aufgabenrelevanten Reizes, der Bearbeitung der Klassifizierungsaufgabe und der Generierung der Antwortreaktion waren als grundsätzlicher Aufbau in Experiment I wie auch in den klassischen Experimenten vertreten. Bei den kognitiven Entscheidungsaufgaben wurden die Wahrnehmungsaspekte eher vernachlässigt und die Untersuchung der Wechselprozesse mit allen Umstellungs-, Hemmungs- und Aktivierungskomponenten konzentrierte sich auf die Aufgabenschemata. Bei den visuellen Suchexperimenten zum Aufgabenwechsel ergab sich neben der Möglichkeit auch die Notwendigkeit, die Wahrnehmungsebene eingehender zu untersuchen. Wie schon aus der Literatur zur visuellen Suche (vgl. Kapitel 1.4 und 1.5) zu ersehen ist, werden auch die Aufmerksamkeits- und Wahrnehmungsprozesse bei Suchaufgaben durch Umstellungsvorgänge beeinflusst. Müller et al. (1995) und Found und Müller (1996) haben den Wechsel des Reizmerkmals und der Reizdimension untersucht und dabei zumindest für den Dimensionswechsel einen Einfluss auf die Reaktionszeit nachgewiesen. In den Experimenten I - III waren ebenfalls Merkmals- und Dimensionswechsel in den Aufgaben vertreten, diese konnten aber nicht isoliert untersucht werden, da sie mit anderen Wechselprozessen konfundiert waren. Bei einem Wechsel des Merkmals musste gleichzeitig die Reaktion gewechselt werden, ein Wechsel der Dimension wurde immer zusammen mit einem Wechsel der Entscheidungsaufgabe vorgenommen. Durch ein Entdeckungsexperiment ist die Möglichkeit gegeben, diese Konfundierung aufzuheben und damit den Anteil von Merkmals- und Dimensionswechseln an den gesamten Wechseleffekten abzuschätzen. Die Vpn entschieden bei dem Entdeckungsexperiment nur, ob ein Zielreiz anwesend oder abwesend war. Bei identischer Antwortreaktion (anwesend) konnte ein Wechsel des Merkmals und/oder der Dimension erfolgen, mit eindeutiger Zuordnungsmöglichkeit der Wechseleffekte. Wie in den übrigen Experimenten wurde für den Dimensionswechsel, der hier den Aufgabenwechsel ersetzte, eine Untersuchung der Blockeffekte wie auch der sequentiellen Effekte vorgenommen. Merkmals- und Reaktionswechsel wurden nur in sequentieller Abhängigkeit untersucht. Die zentralen Fragen dieses Experiments lauteten daher: Ist die wechselnde visuelle Suche in unterschiedlichen Reizdimensionen mit längeren Antwortzeiten verbunden als die Suche in nur einer Dimension und gibt es bei der abwechselnden Suche sequentielle Effekte durch den Wechsel auf eine andere Zieldimension? Treten diese sequentiellen Effekte auch

beim Wechsel des Reizmerkmals auf? Ausserdem soll die Frage beantwortet werden, ob durch die vorbereitende Einstellung auf die Dimension die Wechselkosten eliminiert werden können oder ob residuale Wechselkosten bleiben, wie bei den Entscheidungsaufgaben.

Auch eine Untersuchung der Interferenz wurde mit der Entdeckungsaufgabe vorgenommen. Wieder konnten Einzelablenker neben den Zielreizen auftauchen. Bei zwei abweichenden Reizen im visuellen Feld muss eindeutig die *Anwesend*-Entscheidung getroffen werden, da immer ein Zielreiz dabei ist. Genauso eindeutig war die *Abwesend*-Entscheidung zu treffen, wenn kein abweichender Reiz dargeboten wurde. War jedoch nur *ein* abweichender Reiz zu sehen, war die *An-* oder *Abwesend*-Entscheidung möglich, abhängig davon, ob der abweichende Reiz der Zielreiz oder der Ablenker war. Es ist fraglich, ob dafür eine Identifikation des abweichenden Reizes nötig ist. Es wäre denkbar, dass vorbereitend auf die Suche bereits die Merkmalskarte für die ablenkende Dimension selektiv gehemmt wird, so dass keine Aktivierung auf der Aktivierungskarte erscheint. Nur der Reiz in der relevanten Dimension vermag eine Aktivierung hervorzurufen. Das Abwesend-Urteil sollte dann genauso schnell gegeben werden können, wie in Durchgängen ohne Einzelablenker. Zum gleichen Ergebnis würde eine Dimensionsgewichtung führen, wie sie von Müller et al. (1995) vorgeschlagen wird. Sollte hingegen eine vorbereitende Hemmung oder Gewichtung eine Aktivierung durch den Reiz nicht verhindern können, wäre eine Identifikation des Reizes unumgänglich, um die korrekte Antwort geben zu können. Ein Abwesend-Urteil würde durch diesen zusätzlichen Prozess vermutlich langsamer gegeben werden, als wenn kein abweichender Reiz vorhanden wäre. Ebenso würde die Anwesend-Entscheidung durch die Identifikation länger dauern als bei zwei abweichenden Reizen.

## 5.1 Methode

### 5.1.1 Reize und Versuchsaufbau

Die Reize waren identisch zu denen in Experiment I und II, mit der Ausnahme, dass auch Durchgänge dargeboten wurden, in denen kein Zielreiz zu sehen war (Abwesend-Trials, siehe Abbildung 5.1).

Der Versuchsaufbau war derselbe wie in Experiment I und II.

### 5.1.2 Ablauf

Der Ablauf des Experiments entsprach dem von Experiment I, mit dem Unterschied, dass keine Klassifizierung des Zielreizes vorgenommen werden sollte, sondern dass nur über die An- oder Abwesenheit eines abweichenden Reizes entschieden werden sollte. Die Hälfte der Durchgänge innerhalb eines Experimentalblocks bestand aus Anwesend-Trials, die andere Hälfte aus Abwesend-Trials. Ein Teil der Auswertungen (sequentielle Wechseleffekte) wurde nur mit den Anwesend-Trials vorgenommen. Daher musste die Datenmenge im Vergleich zu den vorhergehenden Experimenten erhöht werden. Die Vpn

bearbeiteten nach fünf Übungsblöcken nun 26 Experimentalblöcke innerhalb von drei Sitzungen von je einer Stunde Dauer.

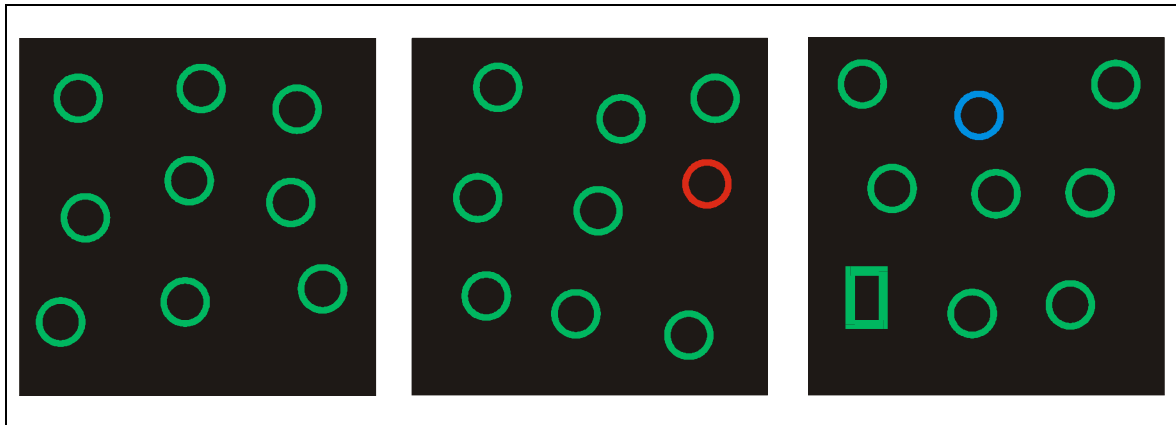


Abbildung 5.1 Testreize in Experiment IV:

*Links:* Es ist kein abweichender Reiz vorhanden, die Abwesend-Entscheidung muss getroffen werden.

*Mitte:* Es ist ein farbabweichender Reiz vorhanden (roter Ring), für die Farbsuche muss die Anwesend-Entscheidung getroffen werden, für die Formsuche die Abwesend-Entscheidung.

*Rechts:* Hier werden ein farb- und ein formabweichender Reiz dargeboten (blauer Ring, Rechteck). Für beide Suchaufgaben ist die Anwesend-Entscheidung zu treffen.

### 5.1.3 Versuchsplan

Wie in Experiment I wurden die Darbietung der Dimension (geblockt, randomisiert), die Dimension (Aufgabe), die Vorbereitung und der Ablenker variiert. Zusätzlich wurde der Faktor *Zielreiz* aufgenommen. Bei diesem Faktor wurde dahingehend unterschieden, ob in einem Trial ein Zielreiz vorhanden war (anwesend) oder nicht vorhanden war (abwesend).

### 5.1.4 Versuchspersonen

Im vierten Experiment wurden wiederum 10 studentische Versuchspersonen untersucht, sieben Frauen und drei Männer. Der Altersbereich der Vpn erstreckt sich von 22 bis 38 Jahre. Alle Vpn waren Rechtshänder, mit normalem oder korrigiertem Visus.

## 5.2 Ergebnisse

### 5.2.1 Blockeffekte

Wie aus Abbildung 5.2 zu erkennen ist, lagen ohne Vorbereitung Wechselkosten als Blockeffekt vor [ $F(1, 9) = 26.0$  ;  $p = 0.001$ ; (27 ms)], die für die Dimension Farbe (37 ms) höher waren als für die Form (17 ms) [Interaktion Darbietung und Dimension:  $F(1, 9) = 19.6$  ;  $p = 0.002$ ]. Durch Vorbereitung auf die abzusuchende Dimension wurden die Wechselkosten für beide Dimensionen vollständig eliminiert [ $F(1, 9) < 0.1$  ;  $p = 0.874$ ] mit 405 ms für beide Darbietungsarten. In der Ablenker-Bedingung erhöhten sich die Wechselkosten wiederum auf 27 ms [ $F(1, 9) = 19.4$  ;  $p = 0.002$ ], mit höheren Kosten für

die Form- (31 ms) als für die Farbsuche (22 ms) [Interaktion Darbietung und Dimension:  $F(1, 9) = 5.8$  ;  $p = 0.040$ ].

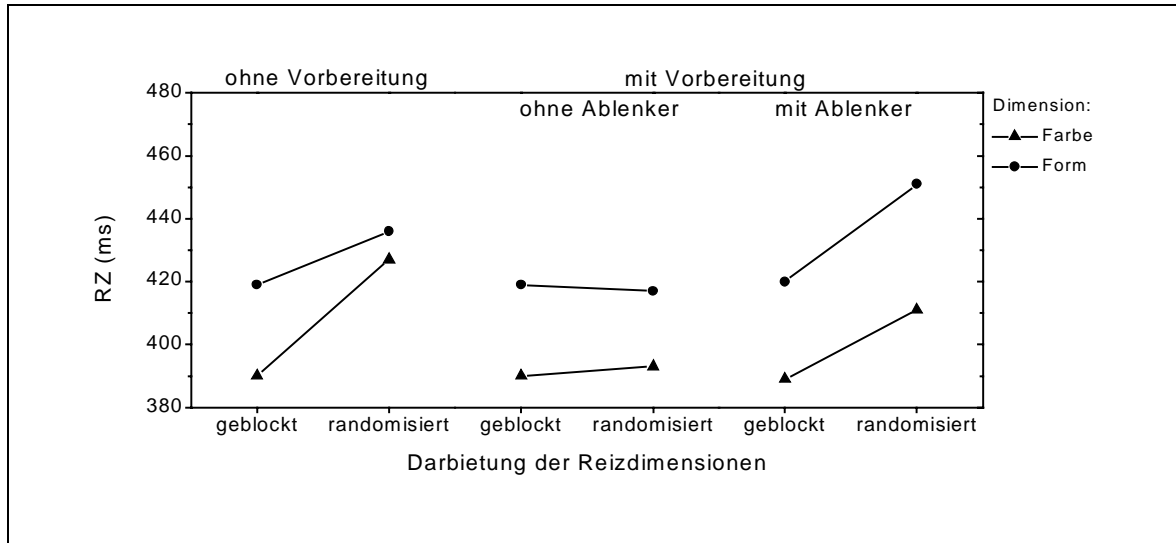


Abbildung 5.2 Blockeffekte des Dimensionswechsels für die verschiedenen Bearbeitungsbedingungen.

Ein heterogenes Bild boten die Anwesend-Abwesend-Entscheidungen auf den Zielreiz (Abbildung 5.3). Während es bei der geblockten Darbietung ohne Ablenker keinen Unterschied zwischen der Anwesend- und Abwesend-Entscheidung gab, fallen bei randomisierter Darbietung ohne Vorbereitung besonders die langsamen Anwesend-Urteile in der Dimension Form auf [Interaktion Dimension und Zielreiz:  $F(1, 9) = 18.0$  ;  $p = 0.002$ ]. Die Vorbereitung durch einen Hinweisreiz brachte einen deutlichen Vorteil für die Anwesend-Urteile [ $F(1, 9) = 33.8$  ;  $p < 0.001$ ] mit einer Reaktionszeit von 391 ms gegenüber 419 ms für die Abwesend-Urteile. Der Vorteil für die Farbsuche war dabei um 26 ms grösser als für die Formsuche [ $F(1, 9) = 25.4$  ;  $p = 0.001$ ].

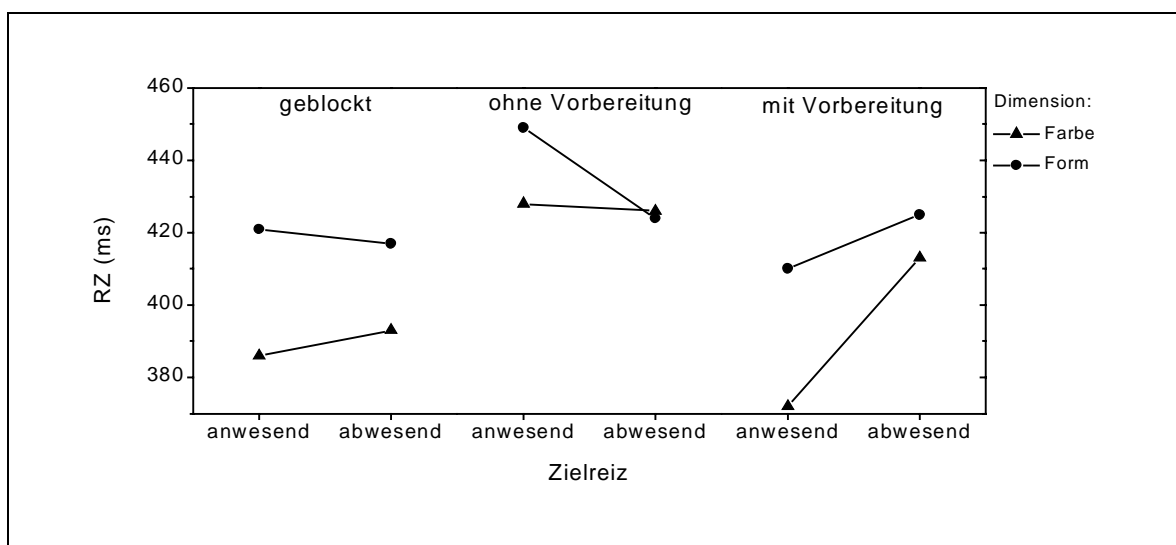


Abbildung 5.3 Anwesend-Abwesend-Entscheidung für die geblockte Darbietung (links) und die randomisierte Darbietung ohne (Mitte) und mit Vorbereitung (rechts) [alle ohne Ablenker].

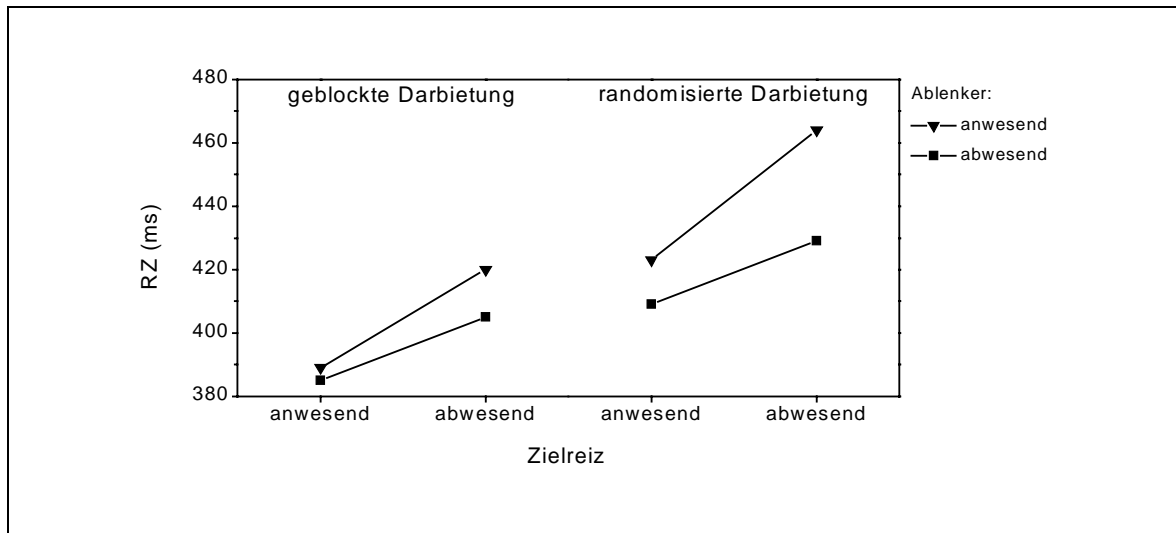


Abbildung 5.4 Ablenker-Bedingung: Anwesend-Abwesend-Entscheidung in Abhängigkeit von der Anwesenheit eines Einzelablenkers für die geblockte (links) und die randomisierte (rechts) Darbietung der Dimension.

In der Auswertung der Bedingung mit Ablenker ging zusätzlich die An- oder Abwesenheit des Einzelablenkers ein. Bei geblockter und randomisierter Darbietung zeigte sich ein ähnliches Bild (Abbildung 5.4): Die Anwesend-Urteile erfolgten schneller als die Abwesend-Urteile, geblockt um 16 ms [ $F(1, 9) = 6.4$ ;  $p = 0.032$ ], randomisiert um 31 ms [ $F(1, 9) = 30.2$ ;  $p < 0.001$ ]. Der Einzelablenker verzögerte die Abwesend-Urteile zusätzlich und zwar um 22 ms bei geblockter Darbietung [Interaktion Zielreiz und Ablenker:  $F(1, 9) = 18.6$ ;  $p = 0.002$ ] und um 41 ms bei randomisierter [Interaktion Zielreiz und Ablenker:  $F(1, 9) = 44.7$ ;  $p < 0.001$ ].

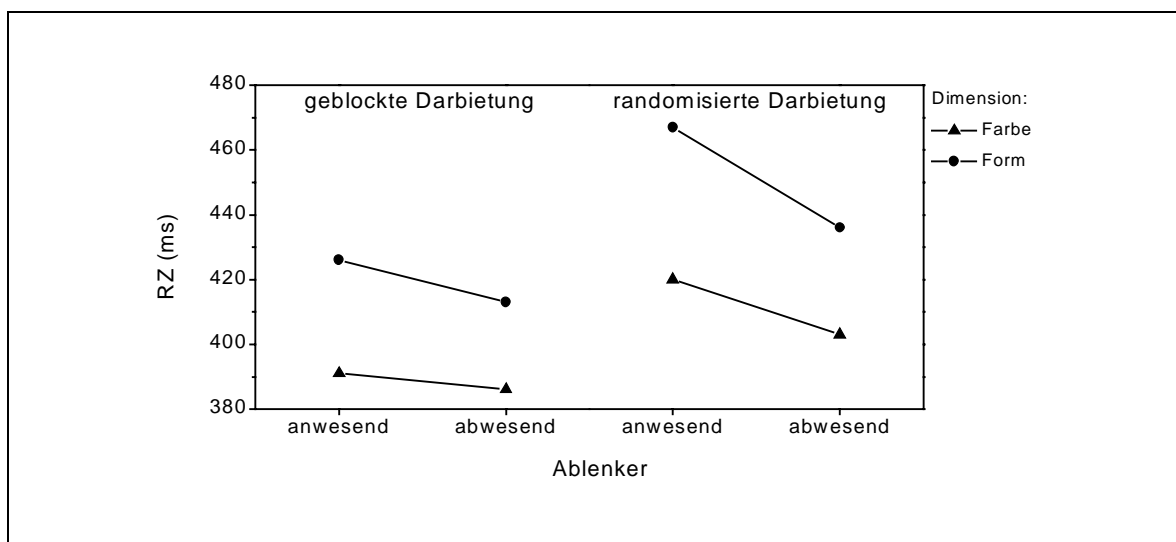


Abbildung 5.5 Ablenker-Bedingung: Einfluss des Ablenkers in den verschiedenen Dimensionen der Suche für die geblockte (links) und die randomisierte (rechts) Darbietung der Dimension.

Abbildung 5.5 zeigt, dass ein farbabweichender Einzelablenker die Antwortreaktionen stärker verzögerte als ein formabweichender, bei der geblockten [13 vs. 5 ms; Interaktion Dimension und Ablenker:  $F(1, 9) = 6.4$ ;  $p = 0.032$ ], wie auch bei der randomisierten

Darbietung [31 vs. 17 ms; Interaktion Dimension und Ablenker:  $F(1, 9) = 17.4$ ;  $p = 0.002$ ]. Die Ergebnisse sind in den Tabellen A.13 und A.14 im Anhang nochmals detailliert aufgeführt.

### 5.2.2 Sequentielle Effekte

In die Auswertung der sequentiellen Effekte des Reizdimensions- und Merkmalswechsels gingen nur die Anwesend-Trials ein. Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse zu den sequentiellen Effekten ist den Tabellen A.15 bis A.17 im Anhang zu entnehmen.

Die Effekte des sequentiellen Wechsels der Reizdimension folgten ohne Ablenker den Blockeffekten: Die Wechselkosten ohne Vorbereitung von 37 ms [ $F(1, 9) = 15.7$ ;  $p = 0.003$ ] wurden durch den Hinweisreiz eliminiert [11 ms;  $F(1, 9) = 3.0$ ;  $p = 0.120$ ]. In der Ablenker-Bedingung wurde dem Blockeffekt nicht gefolgt, die Suche in den verschiedenen Dimensionen gelang den Vpn ohne Wechselkosten [9 ms;  $F(1, 9) = 1.9$ ;  $p = 0.206$ ]. Die Wechselwirkungen sind in Abbildung 5.6 graphisch dargestellt.

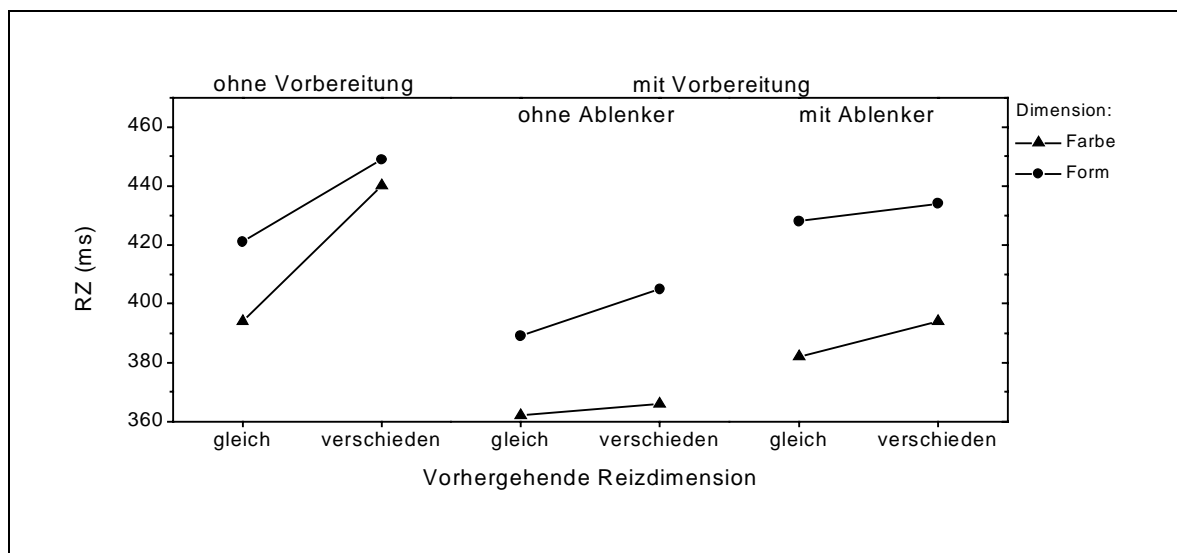


Abbildung 5.6 Sequentielle Effekte des Dimensionswechsels für die verschiedenen Bearbeitungsbedingungen.

Der Wechsel des Reizmerkmals (Abbildung 5.7) verzögerte die Reaktionen bei geblockter Darbietung der Dimensionen, ohne Ablenker um 10 ms [ $F(1, 9) = 5.6$ ;  $p = 0.042$ ], mit Ablenker um 14 ms [ $F(1, 9) = 21.4$ ;  $p = 0.001$ ]. Bei randomisierter Darbietung wurden die Reaktionen mit Vorbereitung ebenfalls verzögert [16 ms;  $F(1, 9) = 9.8$ ;  $p = 0.012$ ], ohne Vorbereitung und mit Vorbereitung/mit Ablenker ergaben sich gleiche Reaktionszeiten mit und ohne Wechsel des Merkmals. Alle Effekte des Merkmalswechsels waren unabhängig von der Dimension, in der die Suche erfolgte.

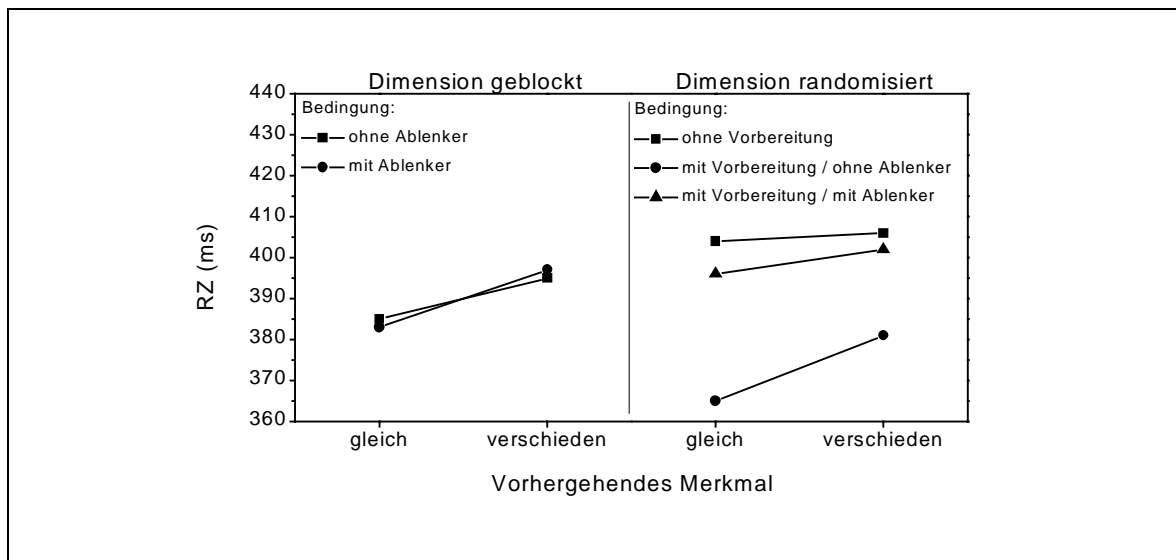


Abbildung 5.7 *Links:* Sequentielle Effekte des Merkmalswechsels für die geblockte Darbietung der Dimension

*Rechts:* Sequentielle Effekte des Merkmalswechsels für die verschiedenen Bearbeitungsbedingungen bei randomisierter Darbietung der Dimension.

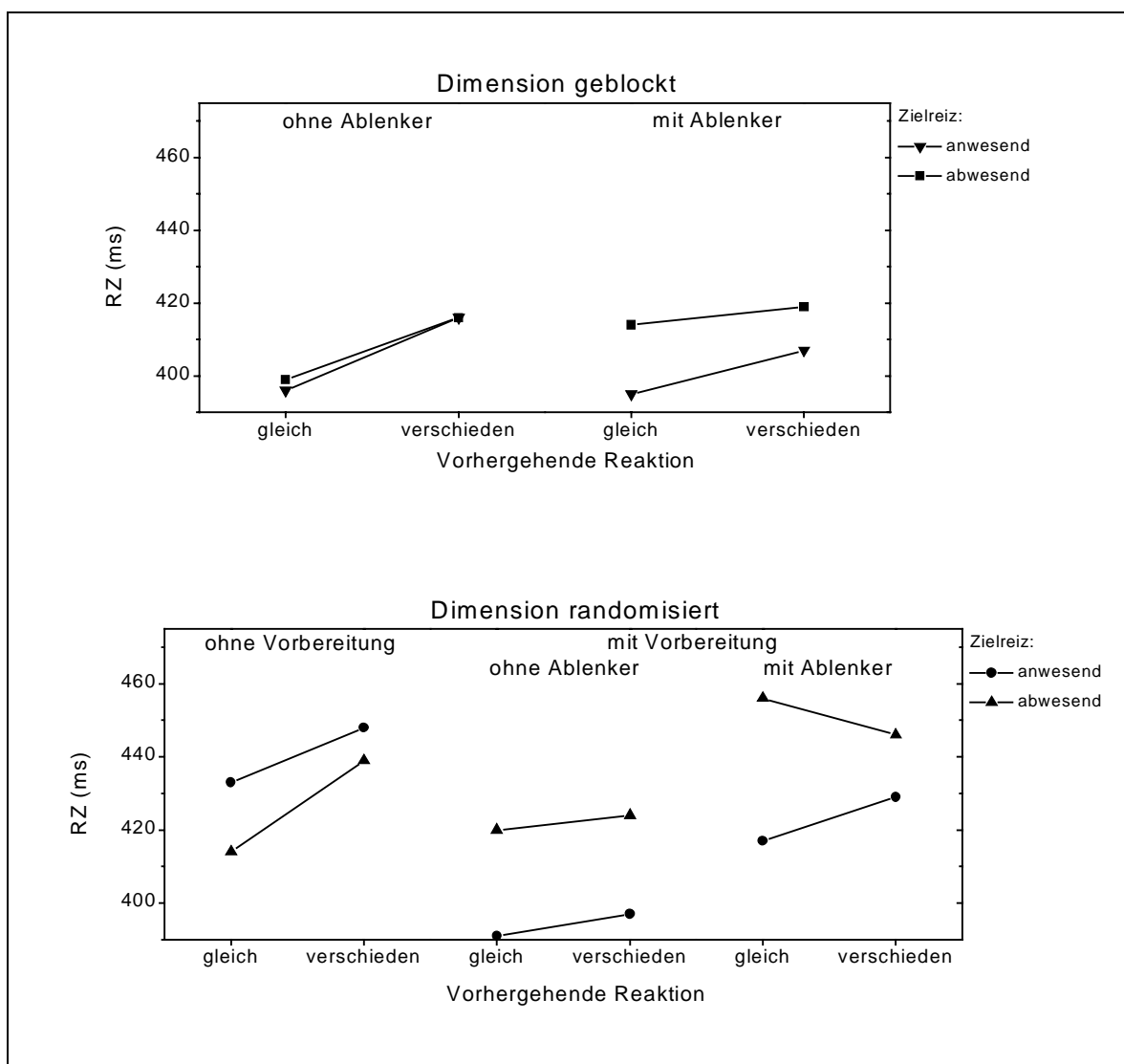


Abbildung 5.8 Sequentielle Effekte des Reaktionswechsels für die geblockte (oben) und die randomisierte Darbietung der Dimensionen (unten).



Beim Wechsel der Antwortreaktion (Abbildung 5.8) zeigte sich ein allgemeiner Trend zu verlangsamten Antworten beim Reaktionswechsel im Vergleich zur Wiederholung der Reaktion. Signifikant wurde der Unterschied jedoch nur bei der geblockten Darbietung ohne Ablenker [19 ms;  $F(1, 9) = 10.9$ ;  $p = 0.009$ ] und der randomisierten Darbietung ohne Vorbereitung [21 ms;  $F(1, 9) = 40.9$ ;  $p < 0.001$ ]. Durchbrochen wurde dieser Trend nur in der Ablenker-Bedingung bei randomisierter Darbietung: Die Reaktionen wurden nach einem Wechsel schneller, wenn das Abwesend-Urteil abzugeben war (10 ms), langsamer beim Anwesend-Urteil (12 ms) [Interaktion:  $F(1, 9) = 24.4$ ;  $p = 0.001$ ].

### 5.2.1 Fehler

Die Häufigkeit falscher Reaktionen lag im Mittel bei 2,5 Prozent, ohne Hinweis auf einen speed-accuracy trade-off zu geben. Wie bei den vorangegangenen Experimenten wurde auf die weitere Auswertung der Fehler verzichtet.

## 5.2 Diskussion

Bei der visuellen Suche nach abweichenden Reizen benötigten die Vpn mehr Zeit, wenn sie abwechselnd in unterschiedlichen Reizdimensionen suchen mussten im Vergleich zur Suche in nur einer Dimension. Dieses Ergebnis ergab sich zumindest, wenn keine vorbereitende Einstellung auf die Dimension stattfinden konnte, also im jeweiligen Trial unklar war, in welcher Dimension der Zielreiz abweichen würde. Die Wechselkosten wurden dabei als Blockeffekt wie auch als sequentieller Effekt in vergleichbarem Umfang deutlich. Damit wurden nicht nur die Ergebnisse von Müller et al. (1995) und Found und Müller (1996) zur Dimensionsgewichtung bei der visuellen Suche bestätigt, sie folgten auch dem Trend der Aufgabenwechsel-Effekte aus der Bedingung *ohne Vorbereitung* in Experiment I. Anders als im ersten Experiment blieben jedoch keine residualen Wechselkosten bestehen, wenn ein Hinweisreiz die abzusuchende Dimension anzeigte. Die Wechselkosten wurden komplett eliminiert, auf Block- wie auch auf Trialebene. Zusätzliche Interferenz durch einen Einzelablenker erhöhte die Kosten wieder auf der Blockebene, auf der Trialebene setzten sich die residualen Wechselkosten jedoch nicht fort. Aus diesen Effekten des Dimensionswechsels kann daher geschlossen werden, dass die Reizentdeckung nur zum Teil einen Beitrag zu den Wechselkosten in den Entscheidungsaufgaben von Experiment I leistete. Die Unsicherheit über die Reizdimension war auf der Wahrnehmungsebene für die hohen Wechselkosten in der Bedingung *ohne Vorbereitung* mit verantwortlich. In der Bedingung mit Wort-Cue als Hinweisreiz, in der eine Vorbereitung auf die Aufgabe und auf die Reizdimension möglich war, kann die Ursache für die residualen Wechselkosten jedoch nicht im Bereich der Wahrnehmung gesucht werden. Vielmehr scheint ein zeitkonsumierender Umstellungsprozess in späteren Verarbeitungsstufen stattzufinden. Entsprechendes gilt für die Interferenzbedingung, in der auch eine dimensions- und aufgabenspezifische Vorbereitung möglich war. Die Interferenz durch

einen Einzelablenker machte sich in Experiment I und IV im Vergleich zur Bedingung ohne Ablenker nur als Blockeffekt bemerkbar, es erfolgte keine Erhöhung der sequentiellen Wechselkosten. Ein bestimmter Aufwand diente dabei zur Hemmung irrelevanter visueller Information, die die Bearbeitung der Entscheidungsaufgabe im weiteren nicht beeinflusste.

Die Frage, ob auch der Wechsel des Reizmerkmals innerhalb einer Reizdimension Einfluss auf die Antwortzeiten hat, ist neben der Beurteilung der Wahrnehmungs- und Aufmerksamkeitsvorgänge auch von Bedeutung für die Reaktionswechsel-Effekte in Experiment I. Bei der Klassifizierungsaufgabe war ein Reaktionswechsel bei konstanter Aufgabe untrennbar mit einem Wechsel des Reizmerkmals verbunden. Es war daher unklar, ob die aufgetretenen Wechselkosten auf die Reizwahrnehmung oder die Umstellung der Reaktion zurückzuführen waren. Im Entdeckungsexperiment lag ein eindeutiger Trend zu verlangsamten Reaktionen beim Merkmalswechsel vor. Bei der Klassifizierungsaufgabe hingegen waren Reaktionswechsel zumeist mit kürzeren Antwortzeiten verbunden, also einem gegenläufigen Trend zum Effekt des Merkmalswechsels. Es ist daher davon auszugehen, dass die negativen Wechselkosten der Antwortreaktion durch den Merkmalswechsel sogar noch unterschätzt wurden. Die durch den Merkmalswechsel hervorgerufenen Kosten waren jedoch eher gering im Vergleich zu denen des Reaktionswechsels, denn es gelang ihnen nicht, diese vollständig auszugleichen.

Im Gegensatz zu Experiment I zeigte sich bei den Reaktionswechseln in Experiment IV wie beim Merkmalswechsel die Tendenz zu verlangsamten Reaktion. Das heisst, dass die Umstellung von der Anwesend- zur Abwesend-Antwort mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden war, beziehungsweise dass eine bereits (aus dem vorhergehenden Trial) voraktivierte Reaktion schneller erfolgen kann. Eine Ausnahme bildete nur die randomisierte Darbietung in der Ablenkerbedingung: Das wiederholte Abwesend-Urteil war hier mit den längsten Antwortzeiten verbunden. Da dieser Effekt bei der geblockten Darbietung der Dimensionen nicht auftrat, waren vermutlich Prozesse des gleichzeitigen Dimensionswechsels an der Verlangsamung beteiligt. Es liegt nahe, dass die negativen Kosten des Reaktionswechsels in Experiment I somit auf Umstellungsprozesse auf der Ebene der Entscheidungsaufgabe zurückzuführen sind.

Vergleichbar mit dem ersten Experiment wirkte die Interferenz durch einen Einzelablenker nur bei randomisierter Darbietung der Dimension, nicht jedoch bei der geblockten. Ebenso war die Ablenkung durch den salienteren Farbreiz grösser als durch den Formreiz. Das Ausmass der Top-Down-Kontrollmöglichkeiten lässt sich besonders gut erkennen, wenn ein Einzelablenker als einziger abweichender Reiz zu sehen ist, verbunden mit einer Abwesend-Entscheidung. Wenn durch eine vorbereitende Dimensionsgewichtung eine Aktivierung durch den Einzelablenker verhindert werden kann, sollte die Abwesend-Entscheidung mit Einzelablenker mit gleicher Geschwindigkeit getroffen werden können wie

ohne Ablenker. Die Ergebnisse zeigen hingegen deutlich eine Verlangsamung der Abwesend-Reaktion bei anwesendem Ablenker. Es gelang also keine vollständige Kontrolle durch die vorbereitende Dimensionsgewichtung. Der Hemmungsprozess wurde während des Trials fortgesetzt und die verbleibende Aktivierung durch den Ablenker wirkte noch immer reaktionsverzögernd. Eine weitere mögliche Erklärung wäre, dass zunächst die Identität des abweichenden Reizes festgestellt wurde und erst danach die Abwesend-Reaktion auf den Einzelablenker erfolgte. Dieses erscheint jedoch unwahrscheinlich, da das Fehlen von Konsistenzeffekten in den vorangegangenen Experimenten gegen die Verarbeitung der Identität eines Ablenkens sprach.

Insgesamt untermauerten die Interferenzeffekte in dieses Entdeckungsexperiments die Ergebnisse aus den Entscheidungsexperimenten bezüglich der Kontrollmöglichkeiten auf der Ebene der visuellen Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Es lieferte einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis der Wechselkosten bei den visuellen Such- und Entscheidungsaufgaben, denn die Ursachen für die residualen Wechselkosten lagen eher auf der Ebene der Schemata für die Entscheidungsaufgaben als bei der visuellen Suche. Grosse Unterschiede zwischen den Experimenten ergaben sich auch bei den Reaktionswechseln, die in Experiment I wiederum stark durch die Entscheidungsaufgabe beeinflusst waren.

## 6. Gesamtdiskussion

Das Ziel dieser Studie war es, die besonderen Umstände des Aufgabenwechsels bei der visuellen Suche zu klären; dabei konzentrierte ich mich auf die folgenden Fragen: Sind die Mechanismen beim Wechsel zwischen visuellen Suchaufgaben dieselben wie beim Wechsel zwischen kognitiven Entscheidungsaufgaben mit Ziffern oder Buchstaben? Welche Rolle spielen Wahrnehmungsprozesse und visuell-räumliche Aufmerksamkeit? Was ist die Funktion der Interferenz und welche Möglichkeiten der intentionalen Kontrolle bestehen beim Aufgabenwechsel?

Das grundlegende Ergebnis war natürlich das Auftreten der Wechselkosten an sich, denn hierauf bauten alle weiteren Effekte und Fragestellungen auf. Bereits bei eindeutigen Zielreizen, die nur einer Aufgabe zuzuordnen sind und einem Minimum an Interferenz in der Reizvorlage traten Kosten für den Wechsel zwischen Aufgaben auf. Diese hatten als Blockeffekte und sequentielle Effekte einen vergleichbarem Umfang wie bei Ziffern- oder Buchstabenaufgaben. Auch die Möglichkeiten intentionaler Kontrolle wiesen grundsätzliche Parallelen auf. Wie schon bei den klassischen Aufgabenwechsel-Experimenten konnten die Vpn die Wechselkosten bei der visuellen Suche sehr stark reduzieren, wenn sie sich vorbereitend auf den Wechsel einstellen konnten.

Durch die Entdeckungsaufgabe in Experiment IV ergab sich ausserdem die Möglichkeit, eine Zuordnung der Wechselkosten zu den Verarbeitungsstufen Entdeckung, Entscheidung und Reaktion vorzunehmen. Die Vorbereitung auf einen Dimensionswechsel war sehr

effektiv, so dass die Wechselkosten vollständig eliminiert werden konnten. Während der Dimensionswechsel bei der Bearbeitung der Aufgaben ohne Vorbereitung noch einen Beitrag zu den Wechselkosten liefert, scheidet er als Erklärung für die residualen Wechselkosten bei der Bearbeitung mit Vorbereitung aus. Bleiben nur Umstellungsprozesse bei der Klassifizierungskomponente und der Antwortreaktion als Erklärung.

Es ist anzunehmen, dass, wie bei den klassischen Aufgabenwechsel-Experimenten, eine externe Komponente für die Komplettierung eines Aufgabenwechsels nötig ist. Erst mit der Verarbeitung des Reizes wird die Umstellung abgeschlossen, wodurch eine vollständige Elimination der Wechselkosten unmöglich wird. Das Vorliegen eines *goal neglect* (De Jong, Berendsen und Cools, 1999), also eine nicht optimale Vorbereitung, scheint unwahrscheinlich als alleinige Ursache für residuale Wechselkosten. Denn dieser *goal neglect* sollte auch beim Dimensionswechsel auftreten und für Wechselkosten sorgen, was nicht der Fall war. Käme als letztes noch die Umstellung der Antwortreaktion für eine Beteiligung in Frage. Ein Reaktionswechsel war zwar mit negativen Wechselkosten verbunden, diese Kosten waren aber identisch bei wechselnder und gleichbleibender Aufgabe. Obwohl eine enge Verbindung zwischen Aufgabenschema und Antwortreaktion zu vermuten ist, können die Kosten des Reaktionswechsels nicht als Komponente der residualen Aufgabenwechselkosten angesehen werden.

Für die Ermittlung der Wechselkosten beim Aufgabenwechsel bei visueller Suche liesse sich daher folgendes additives Modell aufstellen: Ohne Vorbereitungsmöglichkeit setzen sich die Kosten zusammen aus der Dimensionsgewichtung bei der visuellen Suche und der Umstellung des Aufgabenschemas mit einer internalen und externalen Komponente. Kann sich eine Vp auf einen Wechsel vorbereiten, so fallen die Kosten für die Dimensionsgewichtung und die interne Komponente in das Vorbereitungsintervall. Für die residualen Wechselkosten verbleibt nur noch die externe Komponente der Aufgabenschema-Umstellung.

Weitere Hinweise auf die Steuerung durch Top-Down-Prozesse gibt die Wirkung der Interferenz. Bei den Aufgaben zur Ziffern- und Buchstabenklassifizierung (Allport et al., 1994; Rogers und Monsell, 1995; Futterer, 1997) machte sich die Interferenz zwischen den Aufgaben als Konsistenzeffekt bemerkbar und sorgte nicht nur für eine Verlängerung der Reaktionszeiten, sondern trug auch zur Erhöhung der Wechselkosten bei. Beim Konsistenzeffekt zeigt sich, dass die Identität mehrerer Reize, auch die ablenkender Reize, automatisch verarbeitet wird, bis hin zur Generierung der Antwortreaktionen. Hier stören sich widersprüchliche Antworten und es treten verzögerte Reaktionen auf. Die Ergebnisse zu den visuellen Suchaufgaben stellten sich jedoch anders dar. Durch einen zusätzlichen Einzelablenker machte sich die Wirkung von Interferenz bemerkbar, aber nicht als Konsistenzeffekt. Die Identität des Einzelablenkers wirkte sich nicht über eine automatische Verarbeitung und Antwortgenerierung auf die Reaktion auf den Zielreiz aus. Wie ist dieser Unterschied zur Verarbeitung einer Klassifizierungsaufgabe mit Ziffern und Buchstaben zu erklären? Ziffer und Buchstabe unterscheiden sich auf der Wahrnehmungsebene durch ihre

Form und auf der semantischen Ebene durch ihre Bedeutung. Die Klassifizierung in die Kategorien *gerade-ungerade* bei der Ziffer und *Konsonant-Vokal* beim Buchstaben erfolgt erst auf der semantischen Ebene. Die Form ist nur relevant für die Zuordnung zur semantischen Information. Werden mehrere Reize dargeboten, müssen alle unterschiedlichen Formen visuell wahrgenommen werden, bis hin zur Reizerkennung. Der Zielreiz aktiviert das Aufgabenschema für die zu bearbeitende Aufgabe, durch das ein Ergebnis gefunden und eine Antwort generiert wird. Der ebenso erkannte Ablenker aktiviert automatisch das bereits etablierte Schema für die alternative Aufgabe, für die auch ein Ergebnis und eine Antwort gefunden wird. Aspekte der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit wurden zwar bei diesen Experimenten nicht untersucht. Es erscheint aber auch nicht sinnvoll, eine Trennung der beiden Reize, Ziffer und Buchstabe, auf der Ebene der visuellen Wahrnehmung oder Aufmerksamkeit vorzunehmen, da zwischen Zielreiz und Ablenker erst auf der semantischen Ebene unterschieden wird.

Im Gegenteil dazu kann bei der visuellen Suche eine Trennung auf der Wahrnehmungsebene vorgenommen werden. Dort unterscheiden sich die Reize durch unterschiedliche Reizmerkmale (z.B. rot, blau) und Reizdimensionen (Farbe und Form). Wie bereits Folk und Remington (1998) herausfanden, sind Vpn in der Lage, die reizgesteuerte Lenkung der Aufmerksamkeit durch Top-Down-Kontrolle aufzubrechen und eine Ablenkung der Aufmerksamkeit auf irrelevante Reize zu unterbinden. Ist eine vorbereitende Einstellung durch Dimensionsgewichtung möglich, so kann die Aktivierung auf der Zieldimension im Verhältnis zur ablenkenden Dimension stark erhöht werden. Die Dimensionsgewichtung ist ausreichend, um verschiedene Dimensionen im Wechsel ohne Wechselkosten nach Zielreizen abzusuchen. Sie reicht jedoch nicht aus, um einen Zielreiz unbeeinflusst von Einzelablenkern zu finden. Besonders, wenn verschiedene Zieldimensionen gleichzeitig eine gewisse Grundaktivität aufweisen, wie etwa in den Wechselblöcken, stört ein Einzelablenker die Bearbeitung der Suchaufgabe. Bereits Yantis und Egeth (1999) haben darauf hingewiesen, dass ein Ablenker nur dann Aufmerksamkeit auf sich zieht, wenn er relevant ist für die Suche. Wenn jedoch der Ablenker keine direkte Relevanz für die Suche hat, sondern nur im engeren zeitlichen Rahmen relevant ist, etwa in benachbarten Trials, ist die Ablenkung abgeschwächt. Die Verlagerung visuell-räumlicher Aufmerksamkeit auf einen salienten ablenkenden Reiz wird nicht vollzogen. Dass die Verarbeitung des Zielreizes trotzdem beeinflusst wird, ist nur durch einen zeitkonsumierenden Hemmungsprozess zu erklären, der die Aufmerksamkeitsverschiebung verhindert. Dieser Hemmungsprozess ist nur abhängig von der Salienz des Ablenkens (ein Farbablenker erfordert eine stärkere Hemmung als ein Formablenker), hat jedoch keinen Einfluss auf die Umstellung eines Aufgabenschemas oder auf die Dimensionsgewichtung. Eine Bedeutung für die Wechselkosten hat die Ablenkerhemmung nur, wenn die Blockeffekte betrachtet werden. Da die Interferenz durch Einzelablenker zwar einen Beitrag zu den Blockeffekten, nicht aber zu den sequentiellen Effekten liefert, zeigt sich an dieser Stelle auch das Problem einer eindeutigen Definition von Wechselkosten. Wie bereits Rogers und Monsell (1995) erörterten, stellt sich auch hier die Frage, ob allgemeine Belastungen durch die Bearbeitung mehrerer

Aufgaben (Arbeitsgedächtnis, allgemeine Hemmungsprozesse) als Wechselkosten zu werten sind. Oder ob nur die reinen Umstellungsprozesse durch Dimensionsgewichtung oder Schemawechsel die Kosten bestimmen. Die Ergebnisse zum Aufgabenwechsel bei visueller Suche zeigen deutlich, dass nur eine Betrachtung *beider* Effekte im Verbund ein realistisches Bild von den Anforderungen an das verarbeitende System zeichnet.

Die Hemmung der räumlichen Ablenkung hat sich insgesamt als sehr effektiv erwiesen, denn eine tatsächliche Fokussierung auf den Einzelablenker findet nicht statt, was durch das Fehlen von Konsistenzeffekten belegt wurde. Eine weitere Art von Selektionsprozess wurde bei einzelnen Zielreizen mit ablenkender Eigenschaft deutlich. Ein Zielreiz, der zwei abweichende Eigenschaften in sich vereint, zeichnet sich durch ein starkes Signal auf der Aktivierungskarte aus und kann somit sehr schnell gefunden werden. Nach der Aufmerksamkeitsverschiebung auf den hochsalienten Zielreiz wird in einer zweiten Selektionsstufe durch merkmals- bzw. dimensionsbasierte Selektion nur die gesuchte Eigenschaft gezielt aus dem Reiz extrahiert. Die ablenkende Eigenschaft stört die Verarbeitung dabei nicht. Eine objektbezogene Selektion (Duncan und Humphreys, 1989, 1992) des Zielreizes, bei der alle Reizeigenschaften gleichzeitig für die Verarbeitung zur Verfügung stehen, scheidet wegen der fehlenden Konsistenzeffekte als Erklärung aus.

Für die Untersuchung der Interferenzwirkung auf der Ebene der Aufgabenschemata, also der Reizklassifizierung, erwies es sich als Nachteil, dass die Verarbeitung eines Einzelablenkers oder einer ablenkenden Eigenschaft bereits frühzeitig und effektiv gehemmt werden konnte. Der Einfluss von Interferenz auf die Aufgabenschemata und eine mögliche Erhöhung der Wechselkosten blieb in dieser Untersuchung also ungeklärt. Um so überraschender war es, dass in Experiment III der für proaktive Interferenz typische schrittweise Abbau der Reaktionszeit mit mehrfacher Aufgabenwiederholung gefunden wurde. Dieser stufenweise Abbau der Reaktionszeiten wurde von Allport et al. (1994) als Zeichen für proaktive Interferenz gewertet, die dadurch wirkt, dass irrelevante Aufgabenschemata durch Ablenker bottom up immer wieder aktiviert werden. Diese Erklärung scheidet bei der visuellen Suche jedoch aus, da die Interferenz nicht auf die Ebene der Aufgabenschemata vordringen konnte. Blicke noch die ablenkende (und zu hemmende) Wirkung des Einzelablenkers als mögliche Ursache. Bei mehrfacher Beachtung derselben Dimension könnte eine intensivierte Hemmung des Einzelablenkers zum schnelleren Auffinden des Zielreizes und damit schrittweise verkürzten Reaktionszeiten führen. Dagegen spricht wiederum der identische Verlauf der Reaktionszeiten für einzelne Zielreize und Zielreize mit Einzelablenkern in Experiment III (Abbildung 4.6). Bei den einzelnen Zielreizen mit zwei abweichenden Eigenschaften gab es keine räumliche Ablenkung, trotzdem erfolgte der gleiche schrittweise Abbau wie bei den Einzelablenkern. Wie es zu diesem Abbauprozess kam, der vergleichbar ist mit dem bei proaktiven Interferenz, bleibt also zunächst ungeklärt. Ein Zusammenhang mit der Interferenz scheint aber gegeben, da das Auftreten auf die Interferenzbedingungen beschränkt war. Bei eindeutigen Zielreizen war, in Übereinstimmung mit der Rekonfigurierungshypothese von Rogers und Monsell (1995), immer

eine einmalige Reduktion von der ersten zur zweiten Position eines Aufgaben-Runs gegeben. Ein weiterer Zusammenhang scheint zur Vorhersagbarkeit des Aufgabenablaufs und damit die Bindung an ein Aufgabenschema zu bestehen. Eine deutlich einschrittige Reaktionszeitreduktion ergibt sich, wenn ein Aufgabenschema für einen längeren Zeitraum (mehrere Trials) etabliert werden kann. Das relevante Aufgabenschema erfährt eine starke Aktivierung, konkurrierende Schemata eine starke Hemmung. Schwächere Aktivierungs- und Hemmungsprozesse erfolgen, wenn ständig (nach jedem Trial) mit einer Umstellung gerechnet werden muss. Diese schwächere Hemmung ist notwendige Voraussetzung für die Wirkung proaktiver Interferenz. Als Trend hatte sich diese Wirkung bei nicht vorher-sagbarem Ablauf abgezeichnet. Damit erklären sich auch die unterschiedlichen Ergebnisse in den Arbeiten von Allport et al. (1994) und Rogers und Monsell (1995).

Als wichtigstes Ergebnis dieser Studie lässt sich festhalten, dass sich Möglichkeiten zur intentionalen Kontrolle sowohl auf der Wahrnehmungs- als auch auf der Entscheidungsebene bieten. Es wurde daher versucht, das Guided-Search-Modell 2.0 zur visuellen Suche von Wolfe (1996) und das SAS-Modell zur Handlungssteuerung von Norman und Shallice (1986) in ein gemeinsames Ablaufschema zu integrieren (siehe Abbildung 6.1).

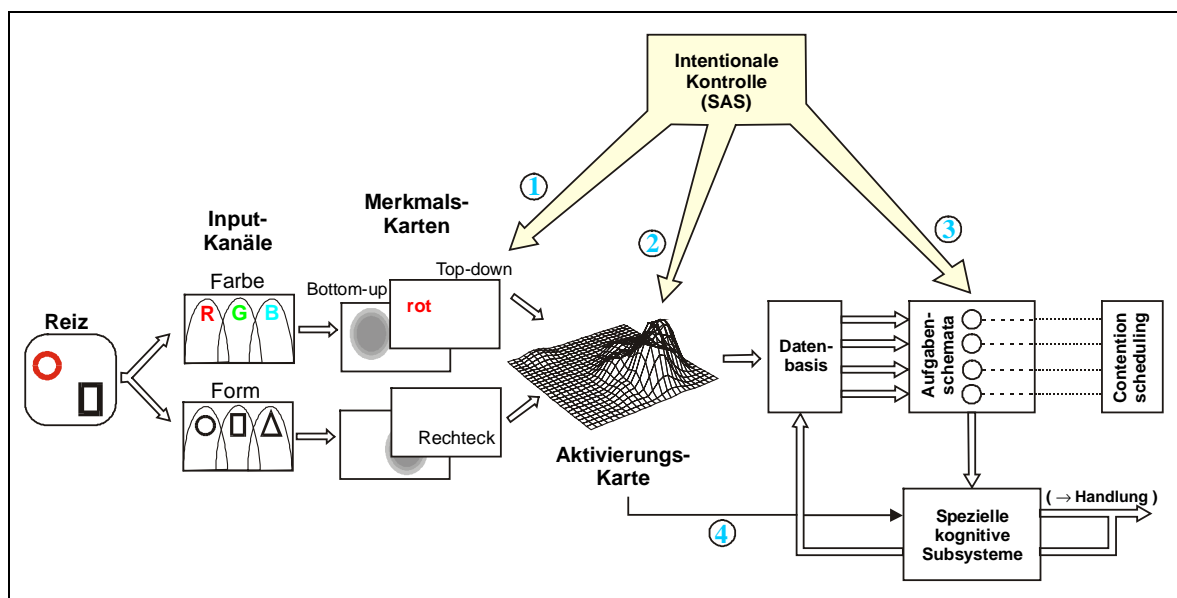


Abbildung 6.1 Kombination des Guided-Search-Modells 2.0 von Wolfe (1994) [siehe Abbildung 1.7] mit dem SAS-Modell von Norman und Shallice (1986) [siehe Abbildung 1.2].

Die Verarbeitungseinheit *perceptual system* im SAS-Modell (siehe Abbildung 1.2) wurde durch die Verarbeitungsprozesse des Guided-Search-Modell (Abbildung 1.7) ersetzt und angepasst an die Farb- und Formaufgabe. Aus der simplen Vorgabe eines Reizes wird dadurch ein mehrstufiger Prozess, der den top down gesteuerten Eingriff durch das SAS zulässt. Der kontrollierende Einfluss auf die Merkmalskarten (1) ermöglicht die Dimensionsgewichtung. Ein weiterer Pfeil auf die Aktivierungskarte (2) soll die spezielle Hemmung der räumlichen Aufmerksamkeitsablenkung symbolisieren, die allein über die

Merkmalskarten nicht möglich ist. Denkbare wäre aber, dass beim Vorliegen mehrerer Aktivierungen eine Rückmeldung an die Merkmalskarten gegeben wird, mit anschließender Korrektur der Dimensionsgewichtung. Der Pfeil (3) repräsentiert die bereits im SAS-Modell vorhandene Steuerung der Aufgabenschemata. Die Verbindung von der Aktivierungskarte zu den kognitiven Subsystemen (4) zeigt die direkte Ansteuerung eines ausführenden Systems (Antwortreaktion) ohne eine Verarbeitung des Reizes durch Aufgabenschemata. Diese kommt zum Zuge, wenn eine Entdeckungsaufgabe auszuführen ist, bei der die Anwesenheit einer Aktivierung im visuellen Feld zur Generierung einer Antwort ausreicht.

Neben den Vorteilen, die Steuerungs- und Verarbeitungsprozesse auf der Wahrnehmungsebene besser beurteilen zu können, mussten aber durch das Paradigma des Aufgabenwechsels bei visueller Suche auch Nachteile hingenommen werden. Die effektive Hemmung der Ablenker erlaubte es nicht, die Wirkung von Interferenz auf der Ebene der Aufgabenschemata (Klassifizierungsaufgabe) zu untersuchen. Um die Kontrollmöglichkeiten auf dieser Verarbeitungsstufe und insbesondere die Übertragung proaktiver Interferenz besser beurteilen zu können, empfiehlt sich ein Rückgriff auf die klassischen Reize und Aufgaben im Aufgabenwechsel-Paradigma.

## 7. Literatur

- Allport, A., Styles, E.A. & Hsien, S. (1994). Shifting intentional set: Exploring the dynamic control of tasks. In Umiltà, C. & Moscovitch, M. (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Bacon, W.F. und Egeth, H.E. (1994). Overriding stimulus driven attentional capture. *Perception and Psychophysics*, 55, 485-496.
- Baddeley A. & Della Sala, S. (1996). Working memory and executive control. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 351, 1397-1404.
- Bundesen, C. (1996). Formal models of visual attention. In: A.F. Kramer, M. Coles & G. Logan (Hrsg.), *Converging operations in the study of visual selective attention*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Cave, K.R. & Wolfe, J.M. (1990). Modelling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, 225-271.
- De Jong, R., Berendsen, E. & Cools, R. (1999). Goal neglect and inhibitory limitations: dissociable causes of interference effects in conflict situations. *Acta Psychologica*, 101, 379-394.



- Duncan, J. (1986). Disorganization of behaviour after frontal lobe damage. *Cognitive Neuropsychology*, 3, 271-290.
- Duncan, J. & Humphreys, G.W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Duncan, J. & Humphreys, G.W. (1992). Beyond the search surface: Visual search and attentional engagement. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 3, 578-588.
- Folk, C.L. & Annett, S. (1994). Do locally defined feature discontinuities capture attention? *Perception and Psychophysics*, 56, 277-287.
- Folk, C.L. & Remington, R. (1996). When knowledge does not help: Limitations on the flexibility of attentional control. In: A.F. Kramer, M. Coles & G. Logan (Hrsg.), *Converging operations in the study of visual selective attention*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Folk, C.L. & Remington, R. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant feature singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 3, 847-858.
- Found, A. & Müller, H.J. (1996). Searching for unknown feature targets on more than one dimensions: Investigating a „dimension-weighting“ account. *Perceptions & Psychophysics*, 58, 1, 88-101.
- Futterer, T. (1997). Willkürliche Aufmerksamkeitswechsel: Aufgaben- und Dimensionswechsel bei Mehr-Ebenen-Ziffern. *Unveröffentlichte Diplomarbeit an der Technischen Universität Braunschweig*.
- Garcia-Ogueta, M.I. (1993) Internal attentional switching: Effects of predictability, complexity and practice. *Acta Psychologica*, 83, 13-32.
- Goldmann-Rakic, P.S. (1996). The prefrontal landscape: Implications of functional architecture for understanding human attention and the central executive. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 351, 1445-1453.
- Goldenberg, G. (1997). *Neuropsychologie. Grundlagen, Klinik, Rehabilitation*. Stuttgart: Fischer.
- Green, D.W. (1996). *Cognitive science: An introduction*. Oxford: Blackwell Publishers
- Hartje, W. & Poeck, K. (1997) *Klinische Neuropsychologie (3.Aufl.)*. Thieme
- Heaton, R. (1981). *A manual for the Wisconsin Card Sorting Test*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Hillstrom, A.P. & Yantis, S. (1994). Visual motion and attentional capture. *Perception and Psychophysics*, 55, 399-411.

- Hsieh, S. & Allport, A. (1994). Shifting attention in a rapid visual search paradigm. *Perceptual and motor skills*, 79, 315-335.
- Hsieh, S. (1995). Stimulus driven or autonomous shift of attention? *Perceptual and motor skills*, 80, 1187-1199.
- Jersild, A.T. (1927). Mental set and shift. *Archives of Psychology*, Whole No. 89.
- Jonides, J. & Yantis, S. (1988). Uniqueness of abrupt visual onset in capturing attention. *Perception and Psychophysics*, 43, 346-354.
- MacLeod, C.M. (1991). Half a century of research on the Stroop Effect: An integrative review. *Psychological Bulletin*, 109, 2, 163-203.
- Maljkovic, V. & Nakayama, K. (1994). Priming of pop-out: I. Role of features. *Memory and Cognition*, 22, 6, 657-672.
- Maljkovic, V. & Nakayama, K. (1996). Priming of pop-out: II. Role of position. *Memory and Cognition*, 58, 7, 977-991.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22, 6, 1423-1442.
- Meyer, D.E. & Kieras, D.E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review*, 104, 1, 3-65.
- Meyer, D.E. & Kieras, D.E. (1997). A computational theory of executive cognitive processes and multiple-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review*, 104, 4, 749-791.
- Monsell, S. (1996). Control of mental processes. In Bruce, V. (Hrsg.), *Unsolved mysteries of the mind: Tutorial essays in cognition*. Hove: Erlbaum.
- Moore, C.M. (1994). Negative priming depends on probe-trial conflict: Where has all the inhibition gone? *Perception and Psychophysics*, 56, 133-147.
- Müller, H.J., Heller, D. & Ziegler, J. (1995). Visual search for singleton feature targets within and across feature dimensions. *Perceptions & Psychophysics*, 57, 1, 1-17.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts
- Newell, A. (1973). Production systems: Models of control structures. In: W.C. Chase (Hrsg.). *Visual information processing*. New York: Academic Press.
- Norman, D.A. & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behaviour. In: R.J. Davidson, G.E. Schwartz & D. Shapiro (Hrsg.), *Consciousness and self-regulation*. New York: Plenum.
- Parkin, A.J. (1996). *Explorations in cognitive neuropsychology*. Oxford: Blackwell Publishers.

- Pashler, H.E. (1998). *The Psychology of Attention*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Reason, J.T. (1984). Absent-mindedness and cognitive control. In: J. Harris & P. Morris (Hrsg.), *Everyday memory, actions and absent-mindedness*. London: Academic Press.
- Reason, J.T. (1990). *Human error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Robbins, T.W. (1996). Dissociating executive functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 351, 1463-1471.
- Röhrenbach, C. & Markowitsch, H.J. (1997). Störungen im Bereich exekutiver und überwachender Funktionen - der Präfrontalbereich. In H.J. Markowitsch (Hrsg.), *Enzyklopädie der Psychologie, Biologische Psychologie (Bd. 2), Klinische Neuropsychologie*. Göttingen: Hogrefe
- Rogers, D. & Monsell, S. (1995). Costs of a predictable switch between simple cognitive tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124, 207-231.
- Rubinstein, J., Meyer, D.E. & Evans, J.E. (im Druck). Executive control of cognitive processes in task switching. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical transactions of the Royal Society*, B298, 199-209.
- Shallice, T. (1994). Multiple levels of control processes. In Umiltà, C. & Moscovitch, M. (Hrsg.), *Attention and performance XV: Conscious and nonconscious information processing*. Cambridge, Mass.: The MIT Press.
- Shallice, T. & Burgess, P. (1996). The domain of supervisory processes and temporal organization of behavior. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B: Biological Sciences*, 351, 1405-1412.
- Smith, E. & Jonides, J. (1999). Storage and executive processes in the frontal lobes. *Science*, 283, 1657-1661.
- Spector, A. & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revised. *American Journal of Psychology*, 4, 669-679.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 669-697.
- Sudevan, P. & Taylor, D.A. (1987). The cuing and priming of cognitive operations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 89-103.
- Theeuwes, J. (1990). Perceptual selectivity is task dependent: Evidence from selective search. *Acta Psychologica*, 74, 81-99.
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perceptions & Psychophysics*, 50, 2, 184-193.

- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity. *Perceptions & Psychophysics*, 51, 6, 599-606.
- Theeuwes, J. (1993). Visual selective attention: A theoretical analysis. *Acta Psychologica*, 83, 93-154.
- Theeuwes, J. (1996). Perceptual selectivity for color and form: On the nature of the interference effect. In: A.F. Kramer, M. Coles & G. Logan (Hrsg.), *Converging operations in the study of visual selective attention*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Theeuwes, J. & Burger, R. (1998). Attentional control during visual search: The effect of irrelevant singletons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 5, 1342-1353.
- Tipper, S.P. & Driver, J. (1988). Negative priming between pictures and words in a selective attention task: Evidence for semantic processing of ignored stimuli. *Memory and Cognition*, 16, 64-70.
- Treisman, A.M. & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Treisman, A.M. (1988). Feature and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40, 201-237.
- Wolfe, J.M. (1994). Guided Search 2.0: A revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 202-238
- Wolfe, J.M. (1996). Visual Search. In: H. Pashler (Hrsg.) *Attention*. London:University College London Press.
- Yantis, S. (1996). Attentional capture in vision. In: A.F. Kramer, M. Coles & G. Logan (Hrsg.), *Converging operations in the study of visual selective attention*. Washington, DC: American Psychological Association.
- Yantis, S. (1998). Control of visual attention. In: H. Pashler (Hrsg.) *Attention*. East Sussex: Psychology Press.
- Zoltan, B. (1996). *Vision, perception and cognition. A manual for the evaluation and treatment of the neurologically impaired adult*. (3.Aufl.). Thorofare (N.J.): Slack Incorporated.

## 8. Anhang

Im Anhang sind die Ergebnisse der Experimente I – IV zusammenfassend in Form von Tabellen dargestellt. Dabei sind jeweils die Reaktionszeiten für die einzelnen Bedingungen mit den dazugehörigen Signifikanztests aufgeführt. Zum leichteren Auffinden der gesuchten Ergebnisse wird, neben der Verweise auf die entsprechenden Tabellen im Text, im folgenden ein Verzeichnis der Tabellen wiedergegeben:

<b>Tabelle</b>	<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
A.1	Blockeffekte in Experiment I .....	A-2
A.2	Sequentielle Effekte des Aufgabenwechsels in Experiment I .....	A-3
A.3	Sequentielle Effekte des Reaktionswechsels in Experiment I .....	A-4
A.4	Runs-Effekte in Experiment II .....	A-5
A.5	Blockeffekte in Experiment II-a (vorhersagbare Runs) .....	A-6
A.6	Sequentielle Effekte des Aufgabenwechsels in Experiment II-a (vorhersagbare Runs) .....	A-7
A.7	Sequentielle Effekte des Reaktionswechsels in Experiment II-a (vorhersagbare Runs) .....	A-8
A.8	Blockeffekte in Experiment II-b (nicht vorhersagbare Runs) .....	A-9
A.9	Sequentielle Effekte des Aufgabenwechsels in Experiment II-b (nicht vorhersagbare Runs) .....	A-10
A.10	Sequentielle Effekte des Reaktionswechsels in Experiment II-b (nicht vorhersagbare Runs) .....	A-11
A.11	Blockeffekte in Experiment III .....	A-12
A.12	Sequentielle Effekte des Aufgabenwechsels in Experiment III .....	A-12
A.13	Blockeffekte in Experiment IV .....	A-13
A.14	Anwesend-Abwesend-Entscheidung in Experiment IV .....	A-14
A.15	Sequentielle Effekte des Dimensionswechsels in Experiment IV .....	A-15
A.16	Sequentielle Effekte des Merkmalswechsels in Experiment IV .....	A-16
A.17	Sequentielle Effekte des Reaktionswechsels in Experiment IV .....	A-17

Tabelle A.1 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Blockeffekte** in **Experiment I** (Reaktionszeiten=RZ).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 70.1$	$p < 0.001$	geblockt randomisiert	446 540
Aufgabe	$F(1, 9) = 2.9$	$p = 0.123$	Farbe Form	487 499
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 5.7$	$p = 0.041$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	434 458 540 540
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 7.0$	$p = 0.027$	geblockt randomisiert	446 474
Aufgabe	$F(1, 9) = 9.6$	$p = 0.013$	Farbe Form	447 474
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.0$	$p = 0.355$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	434 458 460 489
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 11.0$	$p = 0.009$	geblockt randomisiert	441 493
Aufgabe	$F(1, 9) = 21.6$	$p = 0.001$	Farbe Form	446 488
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 6.1$	$p = 0.035$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	426 456 466 520
Konsistenz	$F(1, 9) = 0.01$	$p = 0.916$	konsistent inkonsistent	467 467
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 27.3$	$p = 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	493 460
Vorbereitung * Darbietung	$F(1, 9) = 27.3$	$p = 0.001$	ohne Vorb. - geblockt - randomisiert mit Vorb. - geblockt - randomisiert	446 540 446 475
Vorbereitung * Aufgabe	$F(1, 9) = 16.5$	$p = 0.003$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	487 499 447 474
Vorbereitung * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 16.5$	$p = 0.003$	ohne Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	434 458 540 540 434 458 460 489
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 11.7$	$p = 0.008$	ohne Ablenker mit Ablenker	460 475
Ablenker * Darbietung	$F(1, 9) = 5.3$	$p = 0.047$	ohne Ablenker - geblockt - randomisiert mit Ablenker - geblockt - randomisiert	446 475 449 501
Ablenker * Aufgabe	$F(1, 9) = 7.8$	$p = 0.021$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	447 474 454 496
Ablenker * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 2.0$	$p = 0.195$	ohne Ablenk. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Ablenker - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	434 458 460 489 434 465 475 527

Tabelle A.2 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Aufgabenwechsels** in **Experiment I** (Reaktionszeiten=RZ).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 22.9$	$p = 0.001$	gleich verschieden	507 566
Aufgabe	$F(1, 9) < 0.001$	$p = 0.988$	Farbe Form	537 537
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 3.7$	$p = 0.086$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	502 513 572 560
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 6.2$	$p = 0.034$	gleich verschieden	458 481
Aufgabe	$F(1, 9) = 13.4$	$p = 0.005$	Farbe Form	454 485
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.01$	$p = 0.944$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	443 474 465 497
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 11.2$	$p = 0.009$	gleich verschieden	480 497
Aufgabe	$F(1, 9) = 29.4$	$p < 0.001$	Farbe Form	461 515
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.06$	$p = 0.810$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	452 507 471 522
Konsistenz	$F(1, 9) = 2.1$	$p = 0.186$	konsistent inkonsistent	491 486
Vorherige Aufgabe * Konsistenz	$F(1, 9) = 0.06$	$p = 0.814$	gleich - konsistent - inkonsistent verschieden - konsistent - inkonsistent	483 476 498 495
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 34.5$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	537 470
Vorbereitung * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 9.9$	$p = 0.012$	ohne Vorb. - gleich - verschieden mit Vorb. - gleich - verschieden	507 566 458 481
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 9.1$	$p = 0.015$	ohne Ablenker mit Ablenker	470 495
Ablenker * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 0.5$	$p = 0.492$	ohne Ablenker - gleich - verschieden mit Ablenker - gleich - verschieden	458 481 486 504

Tabelle A.3 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Reaktionswechsels** in **Experiment I** (Reaktionszeiten=RZ).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Aufgaben ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.981$	gleich verschieden	442 442
Geblockte Darbietung der Aufgaben mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.935$	gleich verschieden	445 444
Randomisierte Darbietung der Aufgaben ohne Vorbereitung				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 2.4$	$p = 0.155$	gleich verschieden	526 536
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 15.3$	$p = 0.004$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	490 514 563 558
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 9.4$	$p = 0.013$	gleich verschieden	474 455
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.987$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	461 442 487 468
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 6.1$	$p = 0.036$	gleich verschieden	494 479
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.3$	$p = 0.608$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	487 467 502 491



Tabelle A.4 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Run-Position** aus **Experiment II**.

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Run-Position	$F(3, 54) = 55.1$	$p < 0.001$	Position 1 Position 2 Position 3 Position 4	541 495 495 490
Bearbeitungsbedingung	$F(2, 36) = 60.1$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung mit Vorbereitung / mit Ablenker	540 474 502
Vorhersagbarkeit	$F(1, 18) = 0.4$	$p = 0.528$	vorhersagbar nicht vorhersagbar	514 497
Bearbeitungsbedingung * Run-Position	$F(6, 108) = 6.9$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 mit Vorbereitung - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 mit Vorb. / mit Abl. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4	595 522 526 516 501 467 466 463 527 497 494 490
Vorhersagbarkeit * Run-Position	$F(6, 108) = 6.9$	$p < 0.001$	vorh. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 nicht vorh. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4	560 498 500 497 522 493 491 482
Vorhersagbarkeit * Bearbeitungsbedingung * Run-Position	$F(6, 108) = 1.8$	$p = 0.104$	vorh. ohne Vorb. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 mit Vorb. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 m.Vorb. / mit Abl. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 n.vorh. ohne Vorb. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 mit Vorb. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4 m.Vorb. / mit Abl. - Position 1 - Position 2 - Position 3 - Position 4	618 518 525 515 525 476 472 475 537 501 502 502 572 525 527 517 478 458 460 451 517 494 486 478

Tabelle A.5 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Blockeffekte** in **Experiment II-a**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit vorhersagbaren Runs (feste Runs der Länge Vier).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 50.2$	$p < 0.001$	geblockt randomisiert	462 546
Aufgabe	$F(1, 9) = 10.6$	$p = 0.01$	Farbe Form	485 523
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.8$	$p = 0.212$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	441 483 530 562
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 17.2$	$p = 0.002$	geblockt randomisiert	462 491
Aufgabe	$F(1, 9) = 18.7$	$p = 0.002$	Farbe Form	458 495
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.3$	$p = 0.281$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	441 483 475 507
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 9.5$	$p = 0.013$	geblockt randomisiert	466 502
Aufgabe	$F(1, 9) = 29.2$	$p < 0.001$	Farbe Form	455 513
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 14.2$	$p = 0.004$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	447 486 464 512
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 40.4$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	504 476
Vorbereitung * Darbietung	$F(1, 9) = 40.3$	$p < 0.001$	ohne Vorb. - geblockt - randomisiert mit Vorb. - geblockt - randomisiert	462 546 462 491
Vorbereitung * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.001$	$p = 0.980$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	485 522 458 495
Vorbereitung * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.001$	$p = 0.980$	ohne Vorb. - geblockt - Farbe - Form - Farbe - randomisiert - Farbe - Form - Farbe mit Vorb. - geblockt - Farbe - Form - Farbe - randomisiert - Farbe - Form - Farbe	441 483 530 562 441 483 502 535
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 7.5$	$p = 0.023$	ohne Ablenker mit Ablenker	476 496
Ablenker * Darbietung	$F(1, 9) = 2.8$	$p = 0.127$	ohne Ablenker - geblockt - randomisiert mit Ablenker - geblockt - randomisiert	462 491 475 517
Ablenker * Aufgabe	$F(1, 9) = 2.9$	$p = 0.124$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	458 495 467 525
Ablenker * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 11.6$	$p = 0.008$	ohne Ablenk. - geblockt - Farbe - Form - Farbe - randomisiert - Farbe - Form - Farbe mit Ablenker - geblockt - Farbe - Form - Farbe - randomisiert - Farbe - Form - Farbe	441 483 475 507 456 494 477 557

Tabelle A.6 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Aufgabenwechsels** in **Experiment II-a**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit vorhersagbaren Runs (feste Runs der Länge Vier).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 48.5$	$p < 0.001$	gleich verschieden	519 610
Aufgabe	$F(1, 9) = 5.6$	$p = 0.043$	Farbe Form	551 578
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.6$	$p = 0.243$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	501 538 601 619
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 16.6$	$p = 0.003$	gleich verschieden	476 518
Aufgabe	$F(1, 9) = 20.0$	$p = 0.002$	Farbe Form	481 513
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.1$	$p = 0.742$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	459 493 503 533
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 6.8$	$p = 0.028$	gleich verschieden	502 528
Aufgabe	$F(1, 9) = 24.2$	$p = 0.001$	Farbe Form	478 552
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.0$	$p = 0.342$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	463 451 493 563
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 39.7$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	565 497
Vorbereitung * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 14.4$	$p = 0.004$	ohne Vorb. - gleich - verschieden mit Vorb. - gleich - verschieden	519 610 476 518
Vorbereitung * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.5$	$p = 0.492$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	551 578 481 513
Vorbereitung * vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.9$	$p = 0.369$	ohne Vorb. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form mit Vorb. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form	501 538 601 619 459 493 503 533
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 4.0$	$p = 0.077$	ohne Ablenker mit Ablenker	497 515
Ablenker * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 4.6$	$p = 0.060$	ohne Ablenker - gleich - verschieden mit Ablenker - gleich - verschieden	476 518 502 528
Ablenker * Aufgabe	$F(1, 9) = 7.5$	$p = 0.023$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	481 513 478 552
Ablenker * vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.03$	$p = 0.857$	ohne Abl. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form mit Abl. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form	459 493 503 533 463 541 493 563

Tabelle A.7 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Reaktionswechsels** in **Experiment II-a**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit vorhersagbaren Runs (feste Runs der Länge Vier).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Aufgaben ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.860$	gleich verschieden	458 456
Geblockte Darbietung der Aufgaben mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.915$	gleich verschieden	471 470
Randomisierte Darbietung der Aufgaben ohne Vorbereitung				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.7$	$p = 0.411$	gleich verschieden	564 556
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 1.2$	$p = 0.305$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	512 517 615 595
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 3.7$	$p = 0.086$	gleich verschieden	522 486
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 1.7$	$p = 0.226$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	487 469 557 503
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 9.3$	$p = 0.014$	gleich verschieden	521 492
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 1.1$	$p = 0.325$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	510 486 532 498

Tabelle A.8 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Blockeffekte** in **Experiment II-b**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit nicht vorhersagbaren Runs (unterschiedliche Runlängen).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 71.9$	$p < 0.001$	geblockt randomisiert	449 541
Aufgabe	$F(1, 9) = 1.3$	$p = 0.28$	Farbe Form	489 501
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.8$	$p = 0.21$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	439 458 538 544
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 7.4$	$p = 0.023$	geblockt randomisiert	449 465
Aufgabe	$F(1, 9) = 7.7$	$p = 0.021$	Farbe Form	489 501
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.679$	$p = 0.43$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	439 458 451 479
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Darbietung	$F(1, 9) = 16.8$	$p = 0.003$	geblockt randomisiert	458 503
Aufgabe	$F(1, 9) = 51.1$	$p < 0.001$	Farbe Form	455 506
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 3.9$	$p = 0.080$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	438 479 472 534
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 62.6$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	495 457
Vorbereitung * Darbietung	$F(1, 9) = 62.5$	$p < 0.001$	ohne Vorb. - geblockt - randomisiert mit Vorb. - geblockt - randomisiert	449 541 449 465
Vorbereitung * Aufgabe	$F(1, 9) = 5.7$	$p = 0.041$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	489 501 445 469
Vorbereitung * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 5.7$	$p = 0.041$	ohne Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	439 458 538 544 439 458 451 479
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 16.7$	$p = 0.003$	ohne Ablenker mit Ablenker	457 481
Ablenker * Darbietung	$F(1, 9) = 14.9$	$p = 0.004$	ohne Ablenker - geblockt - randomisiert mit Ablenker - geblockt - randomisiert	449 465 458 503
Ablenker * Aufgabe	$F(1, 9) = 13.4$	$p = 0.005$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	445 469 455 506
Ablenker * Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.6$	$p = 0.461$	ohne Ablenk. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Ablenker - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	439 458 451 479 438 479 472 534

Tabelle A.9 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Aufgabenwechsels** in **Experiment II-b**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit nicht vorhersagbaren Runs (unterschiedliche Runlängen).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 16.6$	$p = 0.003$	gleich verschieden	522 565
Aufgabe	$F(1, 9) = 0.1$	$p = 0.797$	Farbe Form	542 544
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 2.5$	$p = 0.145$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	516 528 568 561
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 7.7$	$p = 0.022$	gleich verschieden	456 470
Aufgabe	$F(1, 9) = 23.3$	$p = 0.001$	Farbe Form	451 475
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 2.2$	$p = 0.172$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	440 472 461 479
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 9.5$	$p = 0.013$	gleich verschieden	488 509
Aufgabe	$F(1, 9) = 50.4$	$p < 0.001$	Farbe Form	469 528
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.7$	$p = 0.145$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	455 520 483 535
<i>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</i>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 59.5$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	543 463
Vorbereitung * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 6.1$	$p = 0.036$	ohne Vorb. - gleich - verschieden mit Vorb. - gleich - verschieden	522 565 456 470
Vorbereitung * Aufgabe	$F(1, 9) = 4.8$	$p = 0.055$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	542 544 451 475
Vorbereitung * vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.1$	$p = 0.711$	ohne Vorb. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form mit Vorb. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form	516 528 568 561 440 472 461 479
<i>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</i>				
Ablenker	$F(1, 9) = 16.6$	$p = 0.003$	ohne Ablenker mit Ablenker	463 499
Ablenker * vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 1.1$	$p = 0.319$	ohne Ablenker - gleich - verschieden mit Ablenker - gleich - verschieden	456 470 488 509
Ablenker * Aufgabe	$F(1, 9) = 24.7$	$p = 0.001$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	451 475 469 528
Ablenker * vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 0.002$	$p = 0.965$	ohne Abl. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form mit Abl. - gleich - Farbe - Form - verschieden - Farbe - Form	440 472 461 479 455 520 483 535

Tabelle A.10 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Reaktionswechsels** in **Experiment II-b**. Diese Ergebnisse beziehen sich auf die Bedingung mit nicht vorhersagbaren Runs (unterschiedliche Runlängen).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Aufgaben ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.8$	$p = 0.385$	gleich verschieden	447 443
Geblockte Darbietung der Aufgaben mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.2$	$p = 0.646$	gleich verschieden	455 452
Randomisierte Darbietung der Aufgaben ohne Vorbereitung				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.8$	$p = 0.400$	gleich verschieden	537 533
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 12.0$	$p = 0.007$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	506 521 568 544
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 6.9$	$p = 0.027$	gleich verschieden	468 453
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 1.9$	$p = 0.206$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	468 444 469 461
Randomisierte Darbietung der Aufgaben mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 6.9$	$p = 0.027$	gleich verschieden	504 483
Vorherige Aufgabe * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.7$	$p = 0.425$	A. gleich - R. gleich - R. verschieden A. verschieden - R. gleich - R. verschieden	503 474 506 492

Tabelle A.11 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Blockeffekte** in **Experiment III**.

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Darbietung	$F(1, 9) = 36.4$	$p < 0.001$	geblockt randomisiert	467 545
Aufgabe	$F(1, 9) = 41.4$	$p < 0.001$	Farbe Form	474 537
Darbietung * Aufgabe	$F(1, 9) = 1.2$	$p = 0.297$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	437 493 508 581
Reizanzahl	$F(1, 9) = 17.5$	$p = 0.002$	Eins Zwei	493 519
Darbietung * Reizanzahl	$F(1, 9) = 5.2$	$p = 0.049$	geblockt - Eins - Zwei randomisiert - Eins - Zwei	460 474 525 564
Aufgabe * Reizanzahl	$F(1, 9) = 28.7$	$p < 0.001$	Farbe - Eins - Zwei Form - Eins - Zwei	471 477 514 561
Konsistenz	$F(1, 9) = 0.8$	$p = 0.395$	konsistent inkonsistent	505 506
Konsistenz * Reizanzahl	$F(1, 9) = 6.9$	$p = 0.028$	konsistent - Eins - Zwei inkonsistent - Eins - Zwei	494 515 491 522
Konsistenz * Darbietung	$F(1, 9) = 3.2$	$p = 0.109$	konsistent - geblockt - randomisiert inkonsistent - geblockt - randomisiert	468 542 465 548

Tabelle A.12 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Aufgabenwechsels** in **Experiment III**.

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Vorherige Aufgabe	$F(1, 9) = 10.3$	$p = 0.011$	gleich verschieden	511 555
Aufgabe	$F(1, 9) = 25.6$	$p = 0.001$	Farbe Form	496 570
Vorherige Aufgabe * Aufgabe	$F(1, 9) = 5.0$	$p = 0.053$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	467 554 525 586
Reizanzahl	$F(1, 9) = 14.5$	$p = 0.004$	Eins Zwei	514 552
Vorherige Aufgabe * Reizanzahl	$F(1, 9) = 2.4$	$p = 0.155$	gleich - Eins - Zwei verschieden - Eins - Zwei	494 528 534 577
Konsistenz	$F(1, 9) = 1.5$	$p = 0.259$	konsistent inkonsistent	531 535
Vorherige Aufgabe * Konsistenz	$F(1, 9) = 4.5$	$p = 0.062$	gleich - konsistent - inkonsistent verschieden - konsistent - inkonsistent	506 516 557 554



Tabelle A.13 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Blockeffekte** in **Experiment IV**

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<b>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</b>				
Darbietung	$F(1, 9) = 26.0$	$p = 0.001$	geblockt randomisiert	405 432
Dimension	$F(1, 9) = 40.3$	$p < 0.001$	Farbe Form	408 428
Darbietung * Dimension	$F(1, 9) = 19.6$	$p = 0.002$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	390 419 427 436
<b>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</b>				
Darbietung	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.874$	geblockt randomisiert	405 405
Dimension	$F(1, 9) = 154.9$	$p < 0.001$	Farbe Form	391 418
Darbietung * Dimension	$F(1, 9) = 0.6$	$p = 0.464$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	390 419 393 417
<b>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</b>				
Darbietung	$F(1, 9) = 19.4$	$p = 0.002$	geblockt randomisiert	404 431
Dimension	$F(1, 9) = 129.9$	$p < 0.001$	Farbe Form	400 436
Darbietung * Dimension	$F(1, 9) = 5.8$	$p = 0.040$	geblockt - Farbe - Form randomisiert - Farbe - Form	389 420 411 451
<b>Bearbeitungsbedingungen mit und ohne Vorbereitung: Wirkung des Hinweisreizes</b>				
Vorbereitung	$F(1, 9) = 34.3$	$p < 0.001$	ohne Vorbereitung mit Vorbereitung	432 405
Vorbereitung * Darbietung	$F(1, 9) = 34.3$	$p < 0.001$	ohne Vorb. - geblockt - randomisiert mit Vorb. - geblockt - randomisiert	405 432 405 405
Vorbereitung * Dimension	$F(1, 9) = 10.5$	$p = 0.01$	ohne Vorb. - Farbe - Form mit Vorb. - Farbe - Form	408 428 391 418
Vorbereitung * Darbietung * Dimension	$F(1, 9) = 10.5$	$p = 0.01$	ohne Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Vorb. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	390 419 427 436 390 419 393 417
<b>Bearbeitungsbedingungen mit Vorbereitung: mit und ohne Ablenker</b>				
Ablenker	$F(1, 9) = 13.3$	$p = 0.005$	ohne Ablenker mit Ablenker	405 418
Ablenker * Darbietung	$F(1, 9) = 21.4$	$p = 0.001$	ohne Ablenker - geblockt - randomisiert mit Ablenker - geblockt - randomisiert	405 405 404 431
Ablenker * Dimension	$F(1, 9) = 8.2$	$p = 0.018$	ohne Ablenker - Farbe - Form mit Ablenker - Farbe - Form	391 418 400 436
Ablenker * Darbietung * Dimension	$F(1, 9) = 3.5$	$p = 0.094$	ohne Ablenk. - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form mit Ablenker - geblockt - Farbe - Form - randomisiert - Farbe - Form	390 419 393 417 389 420 411 451

Tabelle A.14 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **Anwesend-Abwesend-Entscheidung (Zielreiz)** in **Experiment IV**

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Dimensionen ohne Ablenker				
Zielreiz	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.820$	anwesend abwesend	404 405
Dimension * Zielreiz	$F(1, 9) = 4.0$	$p = 0.076$	Farbe - anwesend - abwesend Form - anwesend - abwesend	386 393 421 417
Randomisierte Darbietung der Dimensionen ohne Vorbereitung / ohne Ablenker				
Zielreiz	$F(1, 9) = 6.4$	$p = 0.033$	anwesend abwesend	438 425
Dimension * Zielreiz	$F(1, 9) = 18.0$	$p = 0.002$	Farbe - anwesend - abwesend Form - anwesend - abwesend	428 426 449 424
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Zielreiz	$F(1, 9) = 33.8$	$p < 0.001$	anwesend abwesend	391 419
Dimension * Zielreiz	$F(1, 9) = 25.4$	$p = 0.001$	Farbe - anwesend - abwesend Form - anwesend - abwesend	372 413 410 425
Geblockte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Zielreiz	$F(1, 9) = 6.4$	$p = 0.032$	anwesend abwesend	396 412
Ablenker	$F(1, 9) = 16.1$	$p = 0.003$	anwesend abwesend	409 400
Zielreiz * Ablenker	$F(1, 9) = 18.6$	$p = 0.002$	anwesend - anwesend - abwesend abwesend - anwesend - abwesend	398 394 420 405
Dimension * Ablenker	$F(1, 9) = 6.4$	$p = 0.032$	Farbe - anwesend - abwesend Form - anwesend - abwesend	391 386 426 413
Dimension * Zielreiz * Ablenker	$F(1, 9) = 4.4$	$p = 0.066$	Farbe - anwesend - anwes. - abwes. - abwes. - abwesend - anwes. - abwes. - abwes. Form - anwesend - anwes. - abwes. - abwes. - abwesend - anwes. - abwes. - abwes.	380 378 402 394 416 410 437 416
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Zielreiz	$F(1, 9) = 30.2$	$p < 0.001$	anwesend abwesend	416 447
Ablenker	$F(1, 9) = 29.8$	$p < 0.001$	anwesend abwesend	443 419
Zielreiz * Ablenker	$F(1, 9) = 44.7$	$p < 0.001$	anwesend - anwesend - abwesend abwesend - anwesend - abwesend	423 409 464 429
Dimension * Ablenker	$F(1, 9) = 17.4$	$p = 0.002$	Farbe - anwesend - abwesend Form - anwesend - abwesend	420 403 467 436
Dimension * Zielreiz * Ablenker	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.828$	Farbe - anwesend - anwes. - abwes. - abwes. - abwesend - anwes. - abwes. - abwes. Form - anwesend - anwes. - abwes. - abwes. - abwesend - anwes. - abwes. - abwes.	398 391 442 415 448 427 486 444

Tabelle A.15 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Dimensionswechsels** in **Experiment IV** (nur für die Anwesend-Trials).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
<i>Bearbeitungsbedingung ohne Vorbereitung</i>				
Vorherige Dimension	$F(1, 9) = 15.7$	$p = 0.003$	gleich verschieden	407 444
Dimension	$F(1, 9) = 8.7$	$p = 0.016$	Farbe Form	417 435
Vorherige Dimension * Dimension	$F(1, 9) = 2.1$	$p = 0.185$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	394 421 440 449
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / ohne Ablenker</i>				
Vorherige Dimension	$F(1, 9) = 3.0$	$p = 0.120$	gleich verschieden	375 386
Dimension	$F(1, 9) = 97.7$	$p < 0.001$	Farbe Form	364 397
Vorherige Dimension * Dimension	$F(1, 9) = 1.4$	$p = 0.260$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	362 389 366 405
<i>Bearbeitungsbedingung mit Vorbereitung / mit Ablenker</i>				
Vorherige Dimension	$F(1, 9) = 1.9$	$p = 0.206$	gleich verschieden	405 414
Dimension	$F(1, 9) = 47.4$	$p < 0.001$	Farbe Form	388 431
Vorherige Dimension * Dimension	$F(1, 9) = 0.4$	$p = 0.552$	gleich - Farbe - Form verschieden - Farbe - Form	382 428 394 434

Tabelle A.16 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Merkmalswechsels** in **Experiment IV** (nur für die Anwesend-Trials).

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Dimensionen ohne Ablenker				
Vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 5.6$	$p = 0.042$	gleich verschieden	385 395
Dimension * vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 0.9$	$p = 0.365$	Farbe - gleich - verschieden Form - gleich - verschieden	367 382 403 407
Geblockte Darbietung der Dimensionen mit Ablenker				
Vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 21.4$	$p = 0.001$	gleich verschieden	383 397
Dimension * vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 1.1$	$p = 0.329$	Farbe - gleich - verschieden Form - gleich - verschieden	366 378 400 416
Randomisierte Darbietung der Dimensionen ohne Vorbereitung				
Vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 0.1$	$p = 0.710$	gleich verschieden	404 406
Dimension * vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 0.1$	$p = 0.722$	Farbe - gleich - verschieden Form - gleich - verschieden	390 395 419 417
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 9.8$	$p = 0.012$	gleich verschieden	365 381
Dimension * vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 0.2$	$p = 0.658$	Farbe - gleich - verschieden Form - gleich - verschieden	348 368 382 394
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 1.8$	$p = 0.220$	gleich verschieden	396 402
Dimension * vorheriges Merkmal	$F(1, 9) = 1.2$	$p = 0.308$	Farbe - gleich - verschieden Form - gleich - verschieden	380 382 413 423

Tabelle A.17 Zusammenfassung der Ergebnisse für die **sequentiellen Effekte** des **Reaktionswechsels** in **Experiment IV**.

Faktor	F-Wert	p	Bedingung	RZ (ms)
Geblockte Darbietung der Dimensionen ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 10.9$	$p = 0.009$	gleich verschieden	397 416
Reaktion * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 0.3$	$p = 0.608$	anwesend - gleich - verschieden abwesend - gleich - verschieden	396 416 399 416
Geblockte Darbietung der Dimensionen mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 2.2$	$p = 0.174$	gleich verschieden	405 413
Reaktion * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 3.5$	$p = 0.096$	anwesend - gleich - verschieden abwesend - gleich - verschieden	395 407 414 419
Randomisierte Darbietung der Dimensionen ohne Vorbereitung				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 40.9$	$p < 0.001$	gleich verschieden	423 444
Reaktion * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 1.5$	$p = 0.248$	anwesend - gleich - verschieden abwesend - gleich - verschieden	433 448 414 439
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / ohne Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 2.2$	$p = 0.174$	gleich verschieden	405 411
Reaktion * vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.852$	anwesend - gleich - verschieden abwesend - gleich - verschieden	391 397 420 424
Randomisierte Darbietung der Dimensionen mit Vorbereitung / mit Ablenker				
Vorherige Reaktion	$F(1, 9) < 0.1$	$p = 0.819$	gleich verschieden	405 414
Reaktion * vorherige Reaktion	$F(1, 9) = 24.4$	$p = 0.001$	anwesend - gleich - verschieden abwesend - gleich - verschieden	417 429 456 446